# elektronik system

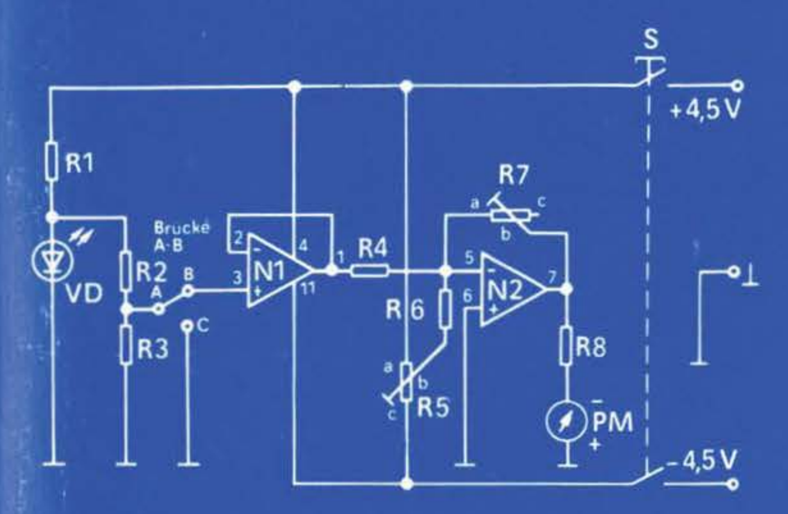
## NKM Baukasten

## Anleitungsheft 2

Mit diesem Anleitungsheft des NKM Baukastensystems können 32 interessante Schaltungen realisiert werden, wie:

- Millivoltmeter
- Wheatstone Brücke
- Lichtorgel
- Feuchtigkeitsprüfer
- Langzeitschalter

Der schnelle und fehlerfreie Aufbau der Schaltung ist mit dem im Anleitungsheft enthaltenen Aufbauplan unkompliziert möglich. Zahlreiche Abbildungen unterstützen die Arbeit mit dem Baukasten.



# Übersicht über die wichtigsten Bauelemente

| Benennung | Abbildung | Schaltzeichen und Kurzbezeichnung | Anschlußbelegung auf dem Bedienteil |
|---|---|---|---|
| **Meßinstrument M 476/3** | | + − PM | Rückansicht: И M476/3 rot + blau − |
| **Einbausteckdose** (Diodenbuchse 5-polig) **AKSN-05 TGL 10472** | | 1 2 5 3 XB | Rückansicht: 3 5 2 1 |
| **Einbausteckdose** (Lautsprecherbuchse) **2/16 B TGL 68-65** | | 1 2 XB | Rückansicht: 2 1 |
| **LED mit Montageeinheit** | | A K VD | Rückansicht: blau rot K A |

# Anleitungsheft 2

Dieses Anleitungsheft will interessierte Kinder ab 12 Jahre und Jugendliche mit ausgewählten Gebieten der Meßtechnik vertraut machen. Unter Beachtung der gegebenen Hinweise zum Umgang mit den Bauelementen und der bei der Durchführung der Versuche gesammelten eigenen Erfahrungen macht der modulare Aufbau des Baukastens Schaltungsexperimente möglich, die weit über das Niveau dieses Anleitungsheftes hinausgehen.

Bei der Beschäftigung mit dem Baukasten ist es zu empfehlen, zuerst die Versuche des Anleitungsheftes 1 durchzuführen, um sich Grundlagen zu erarbeiten. Die Bauteile dazu sind in der Stückliste 1 aufgeführt. Unter Beachtung der Hinweise vom Kapitel 1.3. des Anleitungsheftes 2 können die Versuche des Anleitungsheftes 1 mit Bedienteil durchgeführt werden.


Autorenkollektiv:

Dipl.-Ing. Frank Naumann; Ing. Gerd Dahlgrün

Dipl.-Ing. Rainer Hoffmann; Dipl.-Ing. Viola Kreher

Technische Zeichnungen: Thorsten Gruner

Konstruktion:

Dipl.-Ing. Armin Tröltzsch; Ing. Frank Bergmann

Gestaltung: Christoph Geyer

Grafik: Ingolf Neumann; Detlef Becker/VBK Berlin

Fachwissenschaftliche Mitarbeit:

Ing. Thomas Hasenwinkel; Ing. Frank Fügmann

Gesamtleitung:

Dipl.-Ing. Rainer Hoffmann; Ing. Gottfried Palzelt



VEB Numerik "Karl Marx"

Karl-Marx-Stadt

# Inhaltsverzeichnis

# 1. Wichtige Hinweise zum Ausbau unseres NKM Baukastens

Im Anleitungsheft 1 haben wir uns mit den Grundbauteilen des NKM Baukastens und deren Zusammenbau beschäftigt und mit den Bauelementen und Modulen viele Versuche durchgeführt.
Jetzt komplettieren wir diese Grundbauteile mit weiteren Zusatzteilen, das sind hauptsächlich das Bedienteil und die Abdeckhaube, zu einem komfortablen Gerät wie es auf dem Titelbild des Anleitungsheftes 2 gezeigt wird.
Das Bauelementsortiment der Stückliste 1 (Anleitungsheft 1) wird durch die Bauelemente der Stückliste 2 (Anleitungsheft 2) erweitert.
Wir können jetzt eine Vielzahl weiterer interessanter Versuche durchführen.
Nun wollen wir die zusätzlichen Bauteile kennenlernen.
Die elektrischen und elektronischen Bauelemente der Stückliste 1 werden ergänzt durch:

- das Meßwerk (PM)
- das Modul A6 (A6)
- die LED's mit Montageeinheit (VD)
- die Potentiometer mit Drehknopf (R)
- die Miniaturschiebeschalter (S)
- die Diodenbuchse (XB)
- die Lautsprecherbuchse (XB)
- weitere Widerstände und Kondensatoren (R, C)

Sie erweitern in Verbindung mit dem Bedienteil 1 die Möglichkeiten unseres Baukastens wesentlich.
Die Bauelemente und das Wichtigste, was wir über sie wissen müssen, ist auf der 2. und 3. Umschlagseite des Anleitungsheftes dargestellt.
Wozu benötigen wir diese Bauelemente?

## 1.1. Weitere Bauteile des NKM Baukastens

Die wichtigsten neuen mechanischen Bauteile sind:

- das Bedienteil 1
- das Unterteil B zum Bedienteil 1
- die Abdeckhaube

Die Montage dieser Teile ist im Punkt 1.2. beschrieben.
Ein Miniaturschiebeschalter MSS 3 wird als EIN/AUS-Schalter für die Spannungsversorgung verwendet, so daß das Stecken bzw. Herausziehen der Drähte zum Anschluß der Batterien entfällt.
Der zweite Schiebeschalter wird als Wechsler geschaltet und ermöglicht, wie der Name schon sagt, zwei Potentiale wechselseitig an einen Kontakt zu schalten.
In Abb. 2.10-S, dem kombinierten Strom-Spannungsmeßgerät, finden wir dazu ein Beispiel.
Die Potentiometer sind eine komfortablere Form der Schichtdrehwiderstände, wie wir sie bisher in den Versuchen des Anleitungsheftes 1 auf dem Modul A4 kennengelernt haben.
Unsere Potentiometer haben ein Gehäuse um Widerstandsbahn und Schleifer zur mechanischen und elektrischen Abschirmung. Der Schleifer wird durch eine Achse mit aufgestecktem Drehknopf betätigt. Diese Achse ist mit dem Schleifkontakt nicht elektrisch verbunden.
Da man an diesen Schichtdrehwiderständen am Schleifkontakt nicht nur beliebige Widerstandswerte sondern nach Anlegen einer Betriebsspannung auch Teilspannungen (Potentiale) einstellen kann, nennt man sie Potentiometer. Im Kapitel 3 werden wir dazu spezielle Versuche durchführen.
Der Anschluß am Anfang der Widerstandsbahn ist mit "a", der am Ende mit "c" und der Anschluß am Schleifkontakt mit "b" bezeichnet. Drehen wir die Achse des Potentiometers im Uhrzeigersinn, bewegt sich der Schleifer von Anschluß a nach c.
Die beiden Potentiometer unterscheiden sich nicht nur im Gesamtwiderstandswert (100 kΩ bzw. 10kΩ), sondern auch in der Größe der Widerstandswertzunahme am Schleifkontakt im Verhältnis zum Gesamtwiderstand bei Betätigung an der Achse.
Das 10 kΩ -Potentiometer hat eine lineare Einteilung seiner Widerstandsbahn im Verhältnis zum Drehwinkel des Schleifers, d.h. pro Grad Drehung der Achse ändert sich der Widerstand immer um den gleichen Betrag. Das 100 kΩ -Potentiometer hat eine logarithmische Einteilung seiner Widerstandsbahn, d.h. diese folgt einer logarithmischen Funktion.
Für uns bedeutet das, daß beim Drehen des Schleifkontaktes um den gleichen Drehwinkel am Anfang der Widerstandsbahn die Änderung des Widerstandswertes klein und am Ende der Widerstandsbahn groß ist.
Beide Typen werden in der Technik benötigt, wobei Potentiometer mit logarithmischer Einteilung vorzugsweise in der NF- und Radiotechnik als Lautstärkeeinsteller eingesetzt werden.
Die zwei LED mit Montageeinheit verdoppeln die Anzeigemöglichkeiten unseres Baukastens.
In das Bedienteil werden wir mit Hilfe der Montageeinheiten eine grünleuchtende LED VQA 23 und eine rotleuchtende LED VQA 13-1 montieren. Wie dies geschieht lesen wir in Abschnitt 1.2.
Das Meßwerk, auf der Umschlagseite auch als Meßinstrument bezeichnet, ist ein wichtiges Bauteil für die im Anleitungsheft 2 beschriebenen Versuche. Mit ihm ist es uns möglich weitere Kenntnisse auf dem Gebiet der Elektronik und besonders der Meßtechnik anzueignen. Nähe-

res dazu finden wir im Kapitel 2 dieses Anleitungsheftes.

## 1.2. Komplettierung des NKM Baukastens mit Bedienteil 1 und Abdeckhaube

Zur Montage des Bedienteils 1 benötigen wir folgende Teile:

1 Bedienteil 1
1 Unterteil B
28 Steckfedern
4 Verbindungselemente
1 Meßwerk
2 LED mit Montageeinheit
2 Potentiometer mit Halterung P und 2 Zylinderblechschrauben B 2,9 x 9,5
2 Drehknöpfe
2 Miniaturschiebeschalter, mit Halterung S und 2 Zylinderblechschrauben B 2,9 x 9,5
1 Leutsprecherbuchse mit 2 Linsensenkschrauben BM 3x10, 2 Muttern M3 und 2 Scheiben 3,2
1 Diodenbuchse mit 2 Linsensenkschrauben BM 3x10, 2 Muttern M3 und 2 Scheiben 3,2

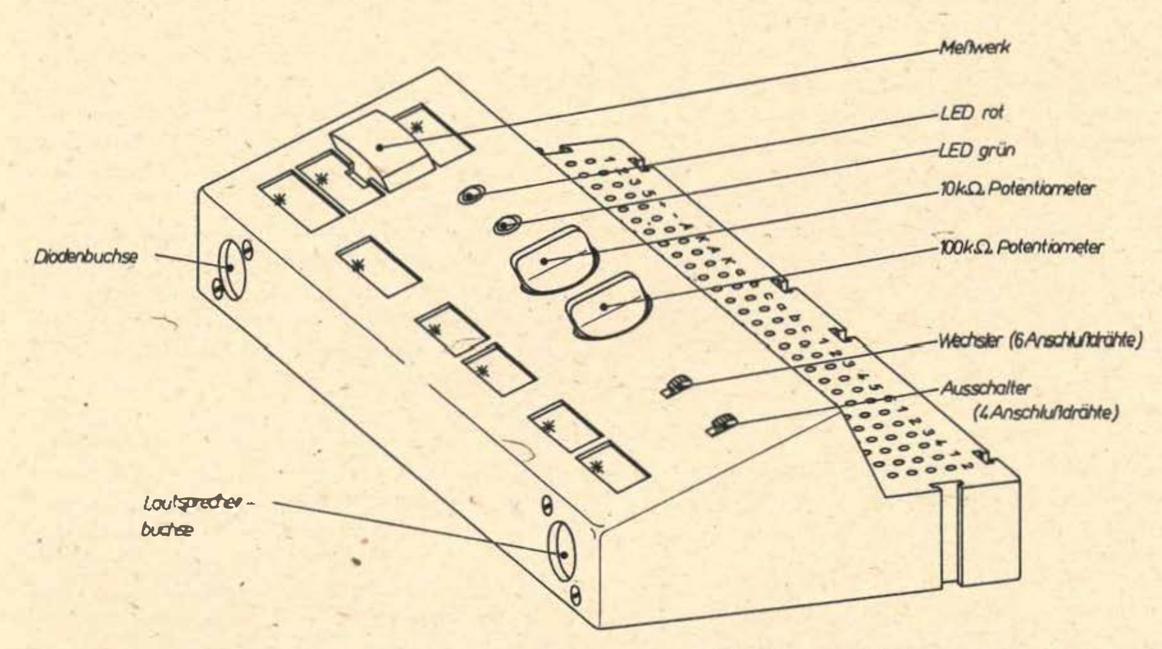



Abb. 1.01 Bedienteil 1

Die genannten Teile werden in das Bedienteil 1 entsprechend Abb. 1.01 und den folgenden Hinweisen eingebaut.
Die elektrische Verbindung zwischen den im Bedienteil 1 montierten Bauteilen (Meßgerät, LED usw.) und der Schaltung auf den Aufbauplatten erfolgt über Steckfedern. Jede Steckfeder nimmt einen Anschlußdraht der Bauteile auf. Es bleiben damit 3 Steckmöglichkeiten, um Anschlüsse zu den Aufbauplatten zu realisieren. Die Zuordnung der Anschlußdrähte zu den Steckfedern ist in Abb. 1.02 dargestellt. Auch die Abbildungen auf der 2. und 3. Umschlagseite des Anleitungsheftes 2 können zur Zuordnung genutzt werden.
Die Anschlußdrähte werden gleich nachdem das jeweilige Bauteil montiert wurde, durch die Öffnungen im Bedienteil zu den entsprechenden Federn geführt und dort eingesteckt wie es Abb. 1.02 zeigt. An den einzelnen Anschlüssen der im Bedienteil montierten Bauteile sind verschiedenfarbige Drähte angelötet. Das erleichtert uns das Verdrahten.

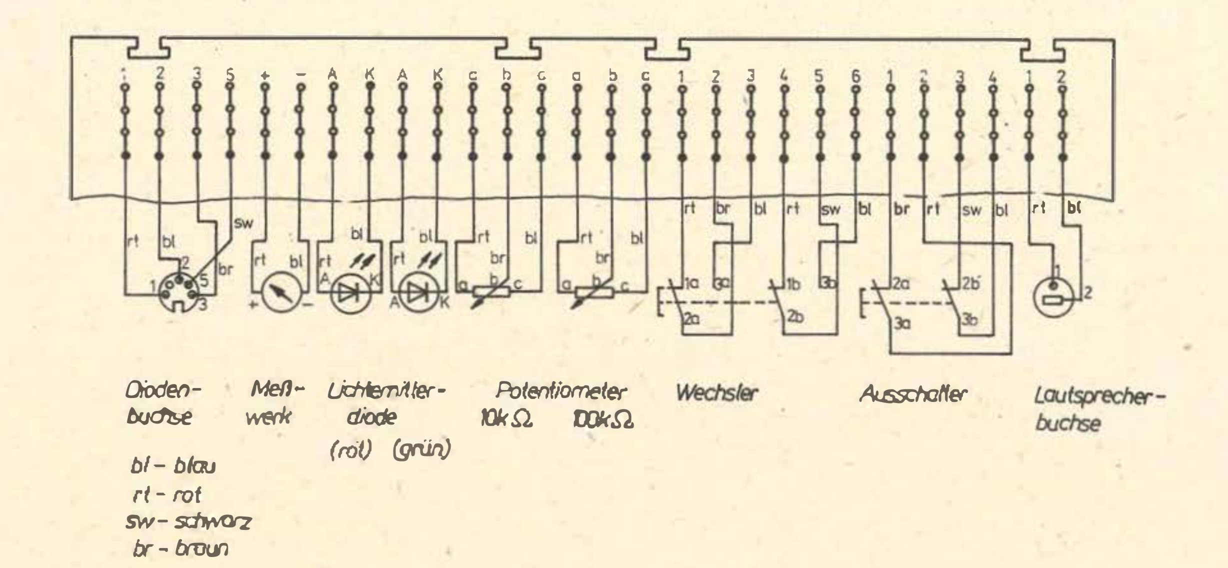



Abb. 1.02 Zuordnung der Bauelementeanschlüsse zu den Steckfedern im Bedienteil 1

Der Einbau der Steckfedern erfolgt genauso wie bei der Aufbauplatte. Wir legen das Bedienteil mit der Unterseite nach oben auf den Tisch und schieben die Steckfedern in die dafür vorgesehenen Fächer. Sie schließen mit dem Rand bündig ab. Um die Federn in ihren Fächern zu halten, wird das Unterteil B mit seiner glatten Fläche dort aufgelegt und eingeschnappt.
Dabei rastet das Unterteil B an 4 Stellen im Bedienteil ein. Wollen wir das Unterteil wieder herauslösen, so müssen wir dazu einen Schraubendreher benutzen. Er wird nacheinander in die 4 kleinen Aussparungen zwischen Bedienteil und Unterteil gesteckt. Nun kann man mit dem Schraubendreher das Unterteil an jeder Stelle ein kleines Stück aus dem Bedienteil herausheben. Abschließend kann es mit der Hand ganz abgezogen werden. Eine solche Demontage wird nur notwendig, wenn eine verschlissene Feder zu wechseln ist.
Das Meßwerk schiebt man an der dafür vorgesehenen Stelle von unten in das Bedienteil. Es schnappt dann in die dort befindlichen Haken ein. Der Nullpunkt der Skala des Meßgerätes muß nach der Montage links sein (Ansicht von vorn).
Die LED's befestigen wir mit Hilfe der Montageeinheiten so wie es Abb. 1.03 zeigt. Eine Montageeinheit besteht aus einer Fassung und einem Klemmring. Die Fassung wird von oben durch das Bedienteil gesteckt und anschließend die LED von unten in die Fassung. Zum Schluß schiebt man den Klemmring von unten über die Fassung. (s. Abb. 1.03)

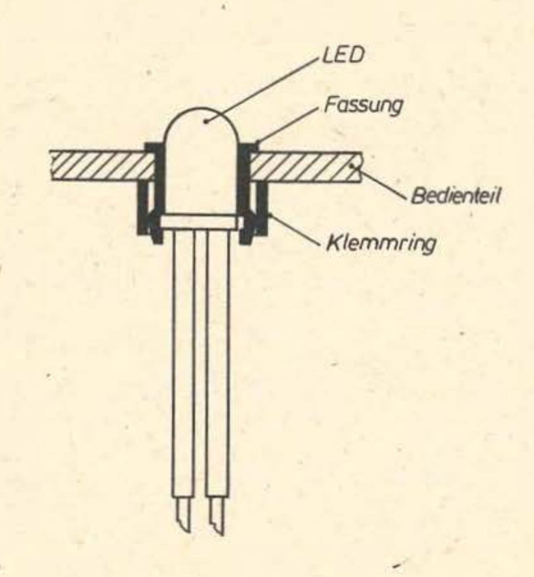



Abb. 1.03 Montage der LED

Die beiden Potentiometer werden mittels der Halterung P(Abb. 1.04)montiert. Zuerst schrauben wir die Potentiometer in die Halterung. Für das 10 kΩ -Potentiometer ist dabei der Ausschnitt zu benutzen, neben dem sich die kleine Kennungsbohrung befindet. In die Aussparungen der Befestigungslöcher greift der Verdrehungsschutz des Potentiometers (eine kleine Erhöhung in der Auflagefläche) ein.
Die Abb. 1.05 zeigt die Halterung P mit montierten Potentiometern vor dem Einbau in das Bedienteil 1.

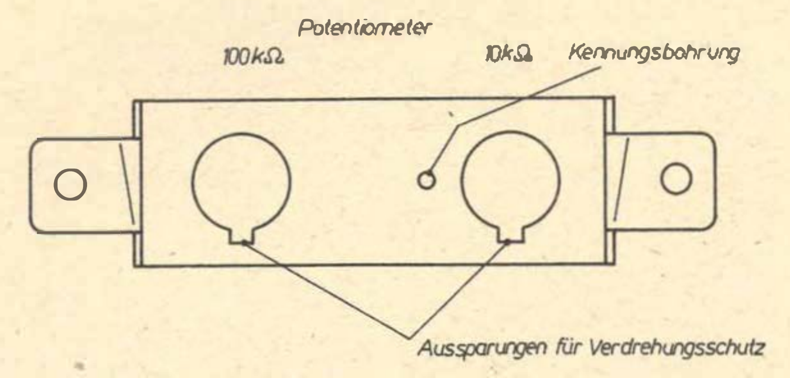



Abb. 1.04 Halterung P (Draufsicht)

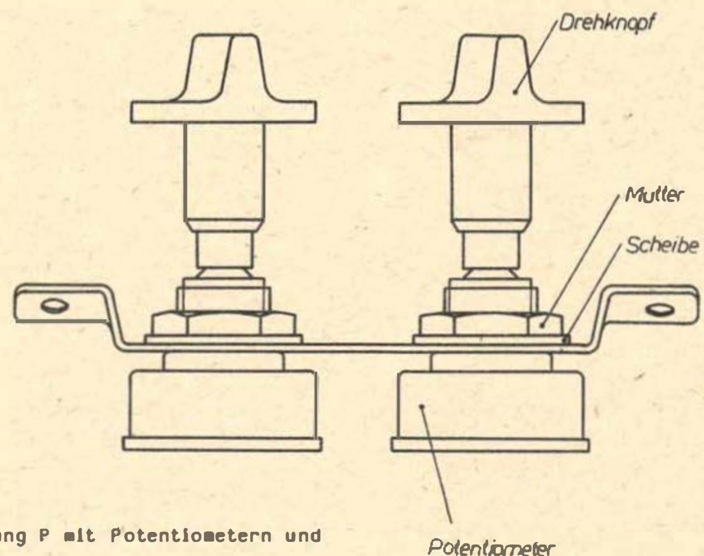



Abb. 1.05 Halterung P mit Potentiometern und Drehknöpfen

Die Mutter, unter der sich noch eine Scheibe befindet, ziehen wir mit einem Schraubenschlüssel der Schlüsselweite 14 mm fest an.
Sind die beiden Potentiometer festgeschraubt, werden die Drehknöpfe aufgesteckt. Die Wellen der Potis sind an einer Seite abgeflacht. Im Drehknopf befindet sich ebenfalls eine entsprechende Fläche. Diese beiden Flächen sind übereinander zu bringen und der Knopf kann auf das Wellenende geschoben werden, bis er unten aufsitzt (s. Abb. 1.05).
Die so komplettierte Halterung P wird nun von unten in das Bedienteil eingelegt. Die beiden Drehknöpfe sitzen in den entsprechenden Öffnungen des Bedienteils und die Halterung liegt an den Seiten auf den dafür vorgesehenen Stempeln aus Plaste glatt auf. Die Anschlüsse der Potentiometer zeigen dabei in Richtung der Steckfedern. Die Halterung wird nun mit 2 Zylinderblechschrauben B 2,9 x 9,5 befestigt. Dazu verwenden wir einen passenden Schraubendreher. Ein übermäßiges Anziehen der Schrauben ist zu unterlassen.

Die Miniaturschiebeschalter werden in das Bedienteil 1 (Unterseite zeigt nach oben) so eingelegt, wie es in Abb. 1.06 gezeigt ist.
Durch die kleinen Erhöhungen in der Plaste und die Stempel für die Befestigung der Halterung ist ihre Lage fixiert. Es ist darauf zu achten, daß sich die Anschlüsse 1a und 1b der Schalter und die Schaltknöpfe unten befinden (die obere Schalterstellung ist nach dem Einbau blockiert!).

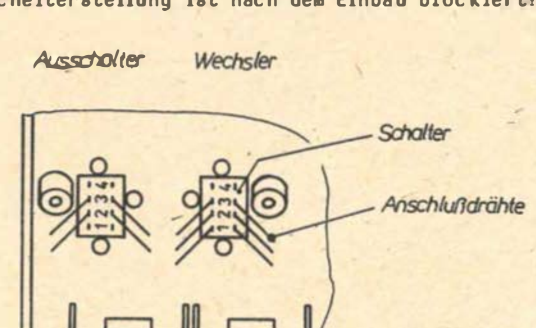



Abb. 1.06 Eingelegte Schalter im Bedienteil 1

Abschließend befestigen wir die Schalter mit der Halterung S. Sie wird auf die Schalter gelegt. Dabei stecken wir die Anschlußdrähte durch die Löcher. Die Seiten der Halterung müssen glatt auf den Stempeln für die Befestigungsschrauben aufliegen, und im Mittelstück werden die beiden Schalter senkrecht gegen das Bedienteil 1 gedrückt. Die Halterung S wird mit 2 Zylinderblechschrauben B 2,9 x 9,5 befestigt (s. Abb. 1.07). Wir achten auch hier darauf, daß die Schrauben nicht fester als notwendig angezogen werden.

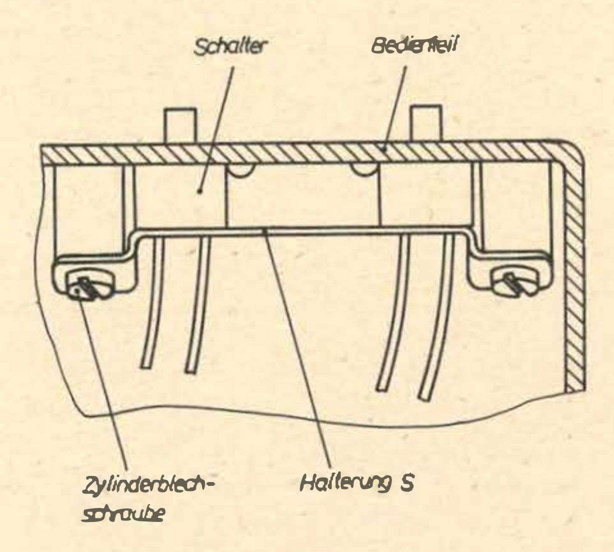



Abb. 1.07 Montierte Schalter

In der Vorderseite des Bedienteils 1 sind Bohrungen für eine Diodenbuchse (links) und eine Lautsprecherbuchse (rechts) vorhanden. Jede Buchse wird durch 2 Schrauben gehalten. Die beiden Buchsen werden von innen an das Bedienteil geschraubt. Dazu stecken wir die Linsensenkschrauben BM 3 x 10 von außen durch die Löcher, stecken innen die Buchsen auf die Schrauben, danach folgt je eine Scheibe 3,2 und abschließend die Muttern M3.
Damit ist das Bedienteil vollständig montiert. Es kann jetzt mit den Verbindungselementen an den beiden Aufbauplatten (gegenüber von den Batteriefächern) befestigt werden.
Durch die Abdeckhaube erhält die montierte Einheit einen geräteähnlichen Charakter. Wenn z. B. Schaltungen aufgebaut wurden, die längere Zeit bestehen bleiben sollen, können diese durch die Abdeckhaube geschützt werden. Am Bedienteil kann dabei weiter gearbeitet werden. Die Abdeckhaube wird über das vordere Batteriefach und die beiden Aufbauplatten gelegt. Sie wird am Batteriefach geführt. Die Abb. 1.08 zeigt den Baukasten mit Abdeckhaube in der Seitenansicht.

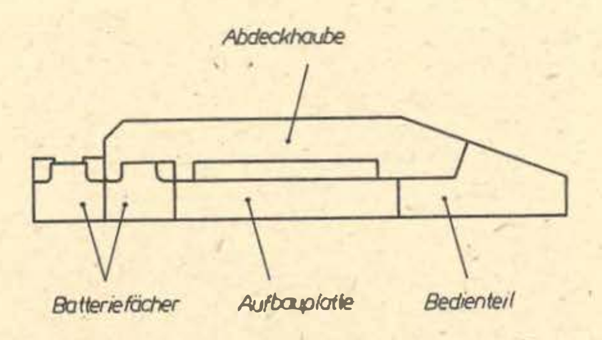



Abb. 1.08 NKM Baukasten mit Abdeckhaube

## 1.3. Einige Tips zur Arbeit mit dem Baukasten und dem Anleitungsheft

Mit dem Bedienteil 1 (BT) und der Abdeckhaube haben wir jetzt die Möglichkeit komfortable, in sich abgeschlossene Geräte zu bauen.
Alle im Anleitungsheft 1 vorgestellten Versuche lassen sich auch unter Einbeziehung des Bedienteils durchführen.
Wichtige Hinweise konnten wir dazu bereits im Abschnitt 1.1 nachlesen.
Folgende Austauschvarianten sind möglich:

| Bauelemente im Bedienteil | Austausch für |
|---|---|
| Miniaturschiebeschalter MSS 3 | Steckverbindung Draht – Steckfeder beim Ein- und Ausschalten |
| Potentiometer | Schichtdrehwiderstände auf Modul A4 |
| LED's | LED's zum Stecken |
| Lautsprecherbuchse | Lautsprecherbuchse auf Modul A1 |

Wer es sich zutraut, kann die Schaltungen entsprechend umbauen. Wir können z. B. den rechten Schalter für die Versuche des Anleitungsheftes 1 generell als Betriebsspannungsschalter, wie er in den Versuchen dieses Anleitungsheftes genutzt wird, verwenden.
Die Aufbaupläne zu den Versuchen des Anleitungsheftes 1 sind dann entsprechend abzuändern.
Auf einem beigelegten Blatt sind von uns einige Bezeichnungsschilder für die Einbauteile des Bedienteils sowie Skalen für das Meßwerk vorbereitet worden.
Die zu den verschiedenen Versuchen gehörenden Schilder und Skalen werden, entsprechend den Angaben im Heft und auf dem Blatt, ausgeschnitten und in das Bedienteil eingelegt.
Zusätzliche Schilder fertigen wir uns aus Pappe selbst an.

Noch ein Hinweis zu den Verbindungsdrähten:
Im Baukasten sind Drähte in vier verschiedenen Farben enthalten. Wir können die Übersichtlichkeit der Schaltungen erhöhen, wenn wir uns angewöhnen, folgende Zuordnung der Drahtfarben für die elektrischen Verbindungen in den Schaltungen einzuhalten:

| | |
|---|---|
| rot | - für alle Verbindungen mit positivem Potential |
| blau | - für alle Verbindungen mit negativem Potential |
| schwarz | - für alle Masseverbindungen |
| braun | - für alle sonstigen Verbindungen |

Im Bild 1.09 sind am Beispiel des Stromlaufplanes der Warnblinkanlage aus Anleitungsheft 1 die anzuwendenden Farben der Verbindungsdrähte eingetragen. Wir sehen uns dazu den entsprechenden Aufbauplan noch einmal an.

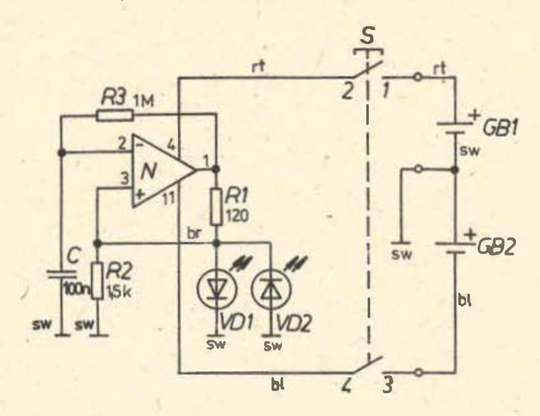



Abb. 1.09 Schaltung der Warnblinkanlage (Anleitungsheft 1) mit eingezeichneten Farben der Verbindungsleitungen

# 2. Kleiner Grundkurs der Meßtechnik

Die Meßtechnik in der Elektrotechnik/Elektronik ist ein wichtiges und interessantes Gebiet.
In den folgenden Kapiteln wollen wir uns dazu Grundkenntnisse aneignen und uns mit der Messung von elektrischen Größen wie z.B. Strom, Spannung und Widerstand befassen.
Doch wozu dient die Meßtechnik?
Jeder Techniker und Ingenieur, aber auch jeder Amateur muß wissen, was in der von ihm entworfenen und aufgebauten elektronischen oder elektrischen Schaltung vor sich geht. Um dies zu wissen, muß er an charakteristischen Punkten seiner Schaltung z.B. die Spannung oder den Strom messen. Er kann außerdem berechnete Werte überprüfen oder wenn notwendig Defekte orten.
Der Begriff Messen wurde jetzt schon so oft verwendet. Was versteht man eigentlich darunter?

**Merke:**
Der Meßvorgang hat das Ziel, eine unbekannte Größe, die Meßgröße, zu erfassen. Die Angabe, die sich ergibt, der Meßwert, besteht aus zwei Teilen dem Zahlenwert und der Einheit.

Beispiele:

| Meßwert | Zahlenwert | Einheit |
|---|---|---|
| 4,5 V | 4,5 | V (Volt) |
| 120 mA | 120 | mA (Milliampere) |
| 3,15 m | 3,15 | m (Meter) |

Jede Messung erfordert ein Meßgerät oder eine Meßeinrichtung, die abgeglichen ( geeicht ) ist. Wir werden dies mit unserem elektrischen Meßgerät an späterer Stelle tun.

## 2.1. Das Meßwerk des NKM Baukastens

Wir unterscheiden auf Grund der Wirkungsweise und des mechanischen Aufbaues mehrere Arten von Meßwerken. Zum Bedienteil unseres Baukastens gehört ein Drehspulmeßwerk. Seinen prinzipiellen Aufbau zeigt Abb. 2.01.
Das Meßwerk besteht aus einem Rähmchen aus Aluminium mit einer isoliert aufgebrachten Kupferwicklung. Das drehbar gelagerte Rähmchen befindet sich im Ausschnitt eines Dauermagneten (Permanentmagneten). Fließt Strom durch die Wicklung, so verursachen elektromagnetische Kräfte, die zwischen dem Dauermagneten und der drehbar gelagerten Spule wirken, eine Auslenkung des Zeigers.

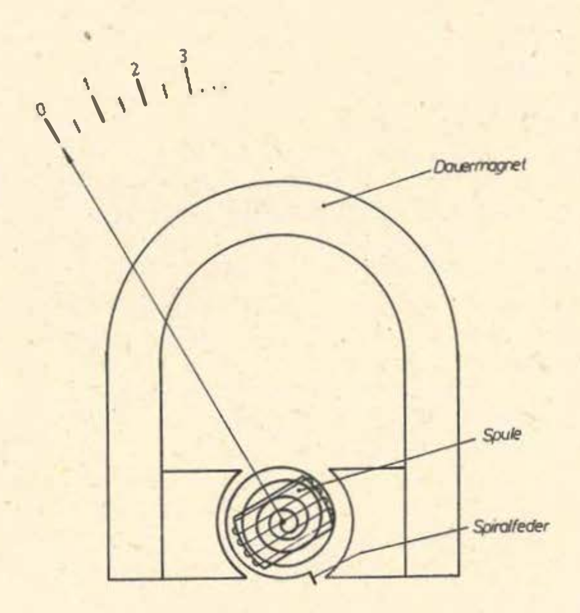



Abb. 2.01 Prinzipdarstellung eines Drehspulmeßwerks

**Merke:**
Die Größe des Zeigerausschlages ist von der Stromstärke abhängig.
hoher Strom - großer Zeigerausschlag
geringer Strom - kleiner Zeigerausschlag

Die Stromzuführung zur Wicklung erfolgt über Spiralfedern, die gleichzeitig auch ein Zurückstellen des Zeigers bewirken. Die Richtung des Zeigerausschlages ist von der Richtung des durch die Wicklung fließenden Stromes abhängig. Geeichte Skalen für Strom- und Spannungsmessung, sowie Widerstände zur Festlegung von Meßbereichen erweitern das Drehspulmeßwerk. Wir sprechen dann von einem Meßgerät. Mit diesem können Ströme oder Spannungen gemessen werden. Bei Erweiterung durch spezielle elektronische Schaltungen erhalten wir Meßgeräte für höhere Ansprüche.

**Beachte:**
Elektromechanische Meßwerke sind empfindliche Bauteile, die keinesfalls überlastet werden dürfen. Der Zeiger darf nicht an die mechanischen Begrenzungen des Meßwerkes anschlagen, da sonst das Meßwerk zerstört werden kann. Geschieht dies doch,ist die Messung sofort zu unterbrechen und die Schaltung,sowie der gewählte Meßbereich zu überprüfen!

## 2.2. Eine Leitfähigkeitsanzeige

Mit diesem und dem folgenden Versuch sollen Anwendungen des Meßwerks als einfacher Indikator demonstriert werden. Wir werden keine Meßergebnisse in Form von Meßwerten, sondern nur qualitative Aussagen erhalten, die uns aber in diesen zwei Fällen genügen sollen. Die Messung des Stromes in einem einfachen Stromkreis, bestehend aus Batterie, Widerstand und Meßwerk, gibt Auskunft über die elektrische Leitfähigkeit des Widerstandes. (Darunter ist, wie das Wort sagt, die Fähigkeit eines Stoffes zu verstehen, den elektrischen Strom zu leiten.)
Wir bauen den Versuch gemäß Abb. 2.02-S auf!
Dabei steht der Schleifer von R1 (47 kΩ Schichtdrehwiderstand auf Modul A6) in Richtung des unteren Schichtdrehwiderstandes.
Bleiben die Klemmen A und B offen ist kein Zeigerausschlag zu beobachten, da kein Strom fließt: die Leitfähigkeit der Luftstrecke zwischen A und B ist Null - Luft ist ein guter Isolator. Fügen wir zwischen A und B eine Drahtbrücke,ein fließt Strom und das Meßwerk zeigt jetzt einen maximalen Ausschlag, da der Kupferdraht eine sehr hohe Leitfähigkeit aufweist. Aus diesem Grunde ist es zweckmäßig, jetzt den maximalen Zeigerausschlag auf den Skalenendwert einzustellen. Wir stellen mit dem beiliegenden kleinen Schraubendreher den Schleifer des 47 kΩ Schichtdrehwiderstandes auf Modul A6 so ein, daß der Zeiger des Meßwerkes auf dem 10. Teilstrich der Skale steht.
Die Drahtbrücke zwischen A und B wird nun durch den Schichtwiderstand R5 (100 kΩ ) ersetzt.
Der Zeigerausschlag geht in die untere Hälfte der Skale zurück: die Leitfähigkeit dieses Widerstandes ist erheblich geringer als die des Kupferdrahtes.
Benutzen wir statt R5 den noch hochohmigeren Schichtwiderstand R8 (1 MΩ ), ist ein noch geringerer Zeigerausschlag festzustellen; die Leitfähigkeit sinkt also mit steigendem Widerstand. Dieser Zusammenhang wird mathematisch durch folgende Gleichung beschrieben:

$$G = \frac{1}{R}$$

wobei G = Leitwert
R = Widerstand

Die Einheit des elektrischen Leitwerts ist das Siemens (abgekürzt S), benannt nach dem deutschen Ingenieur Werner von Siemens (1816 bis 1892). Entsprechend der Gleichung ist somit:

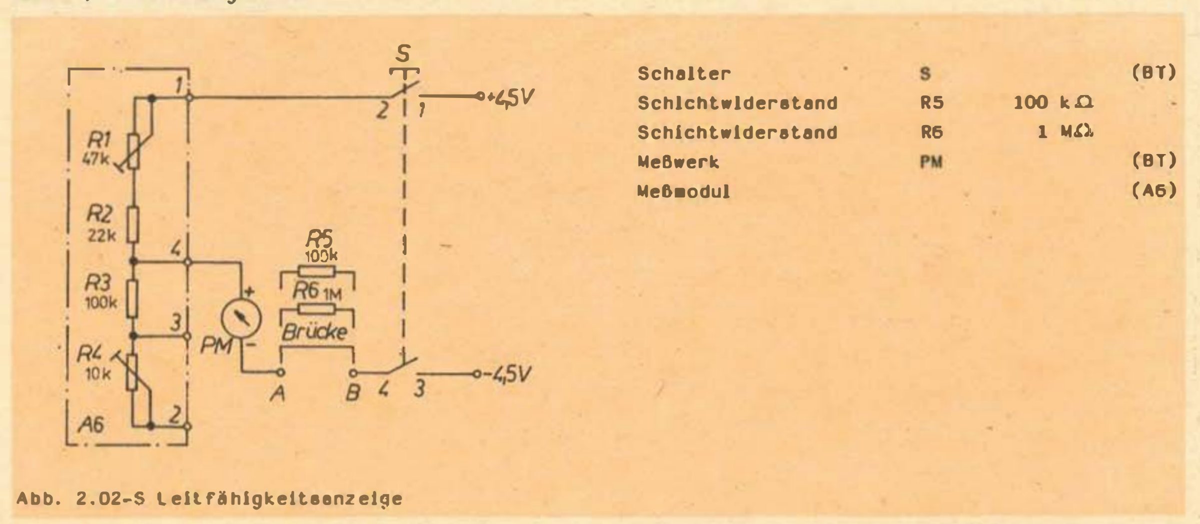
$$1\ S = 1 \cdot \frac{1}{\Omega}$$

Durch Kenntnis der Größe des elektrischen Leitwertes bzw. der elektrischen Leitfähigkeit kann man die unterschiedlichsten Materialien wie z. B. Porzellan, Silizium, Kupfer in die Klassen der Nichtleiter, der Halbleiter und der Leiter einordnen.
Wir wollen in der anschließenden Tabelle einmal vergleichsweise die Leitfähigkeit von einigen Stoffen mit der von Quecksilber ins Verhältnis setzen. Die Leitfähigkeit von Quecksilber setzen wir dabei gleich 1.
Es ergeben sich dann folgende Werte:

| Material | Faktor | Leiterart |
|---|---|---|
| Kupfer | 57 | Leiter |
| Aluminium | 36 | Leiter |
| Eisen | 7 | Leiter |
| Quecksilber | 1 | Leiter |
| Graphit (Kohle) | $10^{-2}$ | Halbleiter |
| Silizium | $10^{-10}$ | Halbleiter |
| Plaste | $10^{-12}$ | Nichtleiter |
| Porzellan | $10^{-18}$ | Nichtleiter |

Wir können also feststellen, daß Kupfer 57 mal besser leitet als Quecksilber. Plaste ist ein sehr schlechter Leiter und wird deshalb als Isolierstoff z. B. bei Leitungen und Kabeln verwendet.
Auch unser Körper leitet den elektrischen Strom. Wir überprüfen dies, indem wir an den Punkten A und B der Schaltung zwei Drähte einstecken und deren blanke Enden mit den Fingern überbrücken.
Wir beobachten dabei das Meßgerät!
Wir stellen fest, daß das Meßgerät einen Strom anzeigt, dessen Wert zwischen dem des 1 MΩ -

und des 100 kΩ - Widerstandes liegt. Dieser Strom ist für den menschlichen Körper ungefährlich. Die Eigenschaft, daß der Körper des Menschen den elektrischen Strom leitet, wird bei den Schaltungen mit Sensortasten (Berührungstasten) bewußt ausgenutzt.




| Bauteil | Kurzzeichen | Wert | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S | | (BT) |
| Schichtwiderstand | R5 | 100 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R6 | 1 MΩ | |
| Meßwerk | PM | | (BT) |
| Meßmodul | | | (A6) |

Abb. 2.02-S Leitfähigkeitsanzeige

Abb. 2.02-A

## 2.3. Eine NF-Pegelanzeige

Bevor wir uns mit den Grundlagen der Meßtechnik in den nächsten Kapiteln beschäftigen, wollen wir ein interessantes Gerät aufbauen.
Es nennt sich NF-(Niederfrequenz, Tonfrequenz) Pegelanzeiger, da mit ihm der Signalpegel von Tonquellen, wie Tonbandgeräte usw. optisch überwacht werden kann. Diese Überwachung, die auch in großen Tonstudios durchgeführt wird, dann allerdings mit komfortableren Geräten, garantiert eine ordnungsgemäße Übertragung des Tonsignals.
Durch Anwendung der Schaltung nach Abb. 2.03-S können wir den Pegel einer tonfrequenten Wechselspannung, die wir von einem Rundfunkempfänger, Schallplattenabspielgerät oder Kassettenrecorder abnehmen, zur Anzeige bringen.

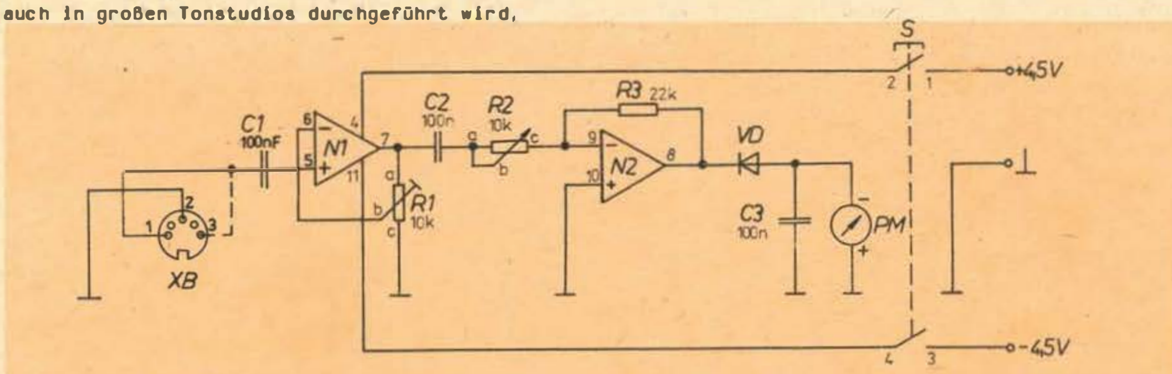



Abb. 2.03-S NF-Pegelanzeige

| Bauelement | Kennz. | Wert | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S | | (BT) |
| Schichtwiderstand | R3 | 22 kΩ | |
| Schichtdrehwiderstand | R1 | 10 kΩ | (A4) |
| Potentiometer | R2 | 10 kΩ | (BT) |
| Kondensator | C1 | 100 nF | |
| Kondensator | C2 | 100 nF | |
| Kondensator | C3 | 100 nF | |
| Diode | VD | SAY 20 | |
| Operationsverstärker | N1, N2 | B084D | (A5) |
| Meßwerk | PM | | (BT) |
| Diodenbuchse | XB | | (BT) |

Abb. 2.03-A

Um den Versuch durchführen zu können, benötigen wir eine Diodenanschlußleitung (Diodenkabel) oder eine Überspielleitung, welche als Zubehör zum Kassettenrecorder, Schallplattenabspielgerät oder Radio bereits vorhanden sein dürfte. Merkmal eines Diodenkabels ist, daß die gleichbezifferten Kontakte beider Stecker miteinander verbunden sind. Anschlußleitungen mit einer Überkreuzung der Kontakte 1/3 und 4/5 heißen Überspielleitungen. Sie werden zur Verbindung zweier Tonbandgeräte untereinander genutzt.

Wir bauen die Schaltung nach Abb. 2.03-S auf. Zwischen dem Ausgang vom Schallplattenabspielgerät (TA-Steckdose) oder der TB-Steckdose des Rundfunkempfängers und der Diodenbuchse des Baukastens wird eine Überspielleitung oder ein Diodenkabel geschaltet.
Je nach der verwendeten Übertragungsleitung und dem angeschlossenen Gerät steht uns die tonfrequente Wechselspannung, die wir anzeigen wollen, an Steckfeder 1 oder 3 der Diodenbuchse im Bedienteil zur Verfügung (bei Anschluß eines Rundfunkempfängers mit einem Diodenkabel ist es der Kontakt 1). Die Besonderheiten, die sich bei der Stereowiedergabe ergeben, wollen wir hier außer acht lassen.

Vor Inbetriebnahme der Schaltung bringen wir den Schleifer des Einstellreglers R1 in Mittenstellung und den Schleifer des Potentiometers R2 an den linken Anschlag. Danach können wir mit Schalter S die NF-Pegelanzeige einschalten. Bei eingeschalteter Tonquelle, am besten eignet sich zum Probieren Musik, gelangt das NF-Signal über den Koppelkondensator C1 an den nichtinvertierenden Eingang des OV N1, der als nichtinvertierender Verstärker geschaltet ist. Dieser Eingangsverstärker hat einen so hochohmigen Eingang und benötigt so wenig Eingangsstrom, daß er den Ausgang der Signalquelle (Radio, Schallplattenabspielgerät) kaum belastet.
Mit dem Schichtdrehwiderstand R1 können wir die Verstärkung einstellen und damit die NF-Pegelanzeige grob an die Signalquelle anpassen.
Der beschaltete OV N2 arbeitet als invertierender Verstärker, der über den Koppelkondensator C2 die von N1 verstärkte NF-Spannung erhält. Seine Verstärkung kann mit R2 eingestellt werden. Damit dient Potentiometer R2 zur Feineinstellung und ist langsam nach rechts zu drehen, bis ein Ausschlag des Meßinstrumentes erreicht wird. Ist dies nicht möglich kann mit Schichtdrehwiderstand R1 die Verstärkung von N1 solange vergrößert werden, bis ein Ausschlag des Zeigers zustande kommt.

Achtung:
Dabei darf das Meßgerät nicht überlastet werden.

Die Diode VD richtet die verstärkte NF-Spannung gleich. Das Meßgerät zeigt den Augenblickswert der NF-Spannung, auf die sich der Kondensator C3 auflädt, an.

## 2.4. Elektrische Meßgeräte für Spannung, Strom und Widerstand

Im Abschnitt 2.4. wollen wir einige Meßgeräte für die elektrischen Grundgrößen Strom, Spannung und Widerstand vorstellen. Das Messen von Strömen und Spannungen ist die in der praktischen Arbeit wohl am häufigsten vorkommende Messung. Bei den vorgestellten Meßgeräten handelt es sich um einfache Schaltungen, die mit wenigen passiven Bauelementen und dem Meßwerk aufgebaut werden können.
Natürlich kann man bei der Einfachheit der Schaltungen und des Meßwerkes keine großen Genauigkeitsforderungen stellen. Doch für die Zwecke unseres Baukastens reicht die Genauigkeit bei weitem aus.
Wer präziser und vor allem komfortabler messen will, dem empfehlen wir die Anschaffung eines im Handel erhältlichen Vielfachmessers. Dieser Schritt sollte jedoch gründlich überlegt werden, denn gute Meßgeräte sind teuer und ihre Anschaffung lohnt sich nur, wenn man auf dem Gebiet der Elektronik weiterarbeiten will.

### 2.4.1. Ein Spannungsmesser

#### 2.4.1.1. Vergrößerung des Spannungsmeßbereiches

Bei dem in unserem Baukasten verwendeten Meßwerk handelt es sich um einen in Tonbandgeräten eingesetzten Pegelmesser, den wir für unsere Zwecke zu einem Spannungsmesser, auch Voltmeter genannt, erweitern wollen.
Der Vollausschlag des Zeigers wird bei einem Strom von 200µA durch die Spule erreicht. Zwischen den Anschlußklemmen besteht dabei eine Spannung von 110 mV. Dieser Spannungswert ist für unsere praktische Messungen zu klein und soll deshalb auf 10 V erhöht werden. Möglich wird dies durch Verwendung eines Vorwiderstandes. In Abb. 2.04 ist die Prinzipschaltung dargestellt. Der Widerstand R2 wird durch den Widerstand der Spule des Meßwerkes gebildet.
Der Vorwiderstand R1 wird so dimensioniert, daß an den Anschlüssen des Meßwerkes nur die zulässige Spannung anliegt, bzw. durch die Spule die geringe Stromstärke von maximal 200 µA fließt. In unserem Fall müssen also an R1 9,89 V abfallen.

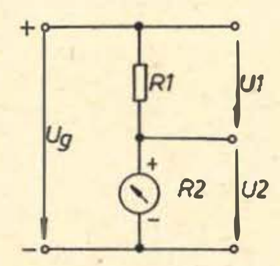



Abb. 2.04 Prinzipschaltung der Meßbereichserweiterung bei Spannungsmessung

Nun zur Berechnung des Vorwiderstandes R1:

$$R1 = \frac{U_1}{I}$$

dabei ist $U_1 = U_g - U_2$

$$U_1 = 10\ V - 0{,}11\ V$$

$$\underline{\underline{U_1 = 9{,}89\ V}}$$

und $\underline{\underline{I = 0{,}0002\ A}}$

R1 ergibt sich zu:

$$R1 = \frac{9{,}89\ V}{0{,}0002\ A}$$

$$R1 = 49450\,\Omega$$

$$\underline{\underline{R1 = 49{,}450\ k\Omega}}$$

Erhält man bei dieser Rechnung keinen Normwert, d. h. der Wert ist nicht handelsüblich, dann schaltet man einen Festwiderstand und einen Schichtdrehwiderstand in Reihe. So auch in diesem Fall. Mit dieser Kombination können ebenfalls Toleranzen des Meßwerkes ausgeglichen werden.
Im Baukasten sind diese Widerstände auf dem Meßmodul A6 montiert.

Baue die Schaltung nach Abb.2.05-S auf.

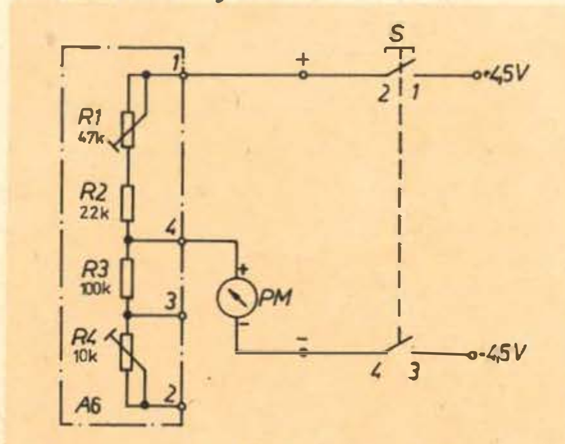



Abb. 2.05-S Spannungsmessung, Grobeichung

| Schalter | S | (BT) |
|---|---|---|
| Meßwerk | PM | (BT) |
| Meßmodul | | (A6) |

Abb. 2.05-A

**Merke:**

Die Erweiterung des Meßbereiches für Spannungsmessungen geschieht durch Reihenschaltung eines Vorwiderstandes zum Meßwerk.

Die beiliegende Skale wird unter dem Meßwerk in das Bedienteil eingeschoben. Die Einstellung des Schleifers des Schichtdrehwiderstandes R1 entspricht der des Versuches Leitfähigkeitsanzeige. Nach Betätigen des Schalters S wird die Batteriespannung angezeigt. Werden volle Batterien zum Versuch verwendet, ist mit dem Schichtdrehwiderstand R1 des Meßmoduls A6 eine Einstellung des Zeigerausschalges auf 9 V möglich (Man verwendet dazu den beiliegenden kleinen Schraubendreher).

**Beachte:**

Die Spannung der Batterien beträgt selten genau 9 V. Sie ist abhängig von Belastung und Entladezustand der Batterien und kann zwischen 7 V (entladene Monozellen) und 10 V (ladenneue Monozellen) liegen. Die oben durchgeführte Einstellung des Meßgerätes ist deshalb nur eine grobe Eichung und muß durch eine genaue Eichung des Meßgerätes ergänzt werden.

**Beachte:**

Die Einstellung des Widerstandes R1 des Meßmoduls A6 ist nicht mehr zu verändern! Geschieht dies doch einmal, muß das Meßgerät vor der Durchführung von Messungen wieder neu geeicht werden.

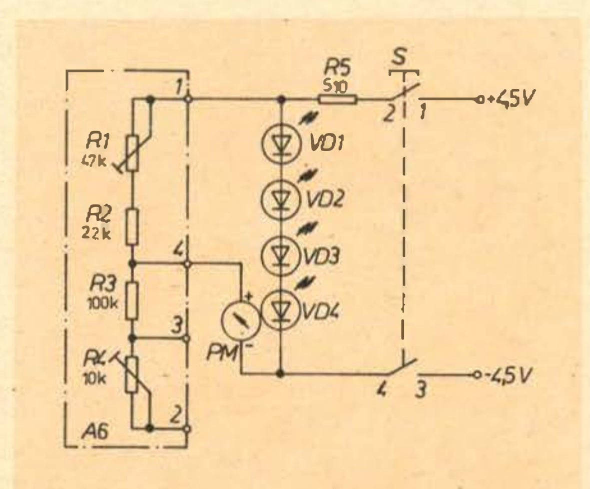



Abb. 2.06-S Eichen des Meßmoduls für Spannungsmessungen (0 - 10 V)

| | | | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S | | (BT) |
| Schichtwiderstand | R5 | 510 Ω | |
| Lichtemitterdiode | VD1 | VQA 13-1 | (BT) |
| Lichtemitterdiode | VD2 | VQA 23 | (BT) |
| Lichtemitterdiode | VD3 | VQA 13-1 | |
| Lichtemitterdiode | VD4 | VQA 23 | |
| Meßwerk | PM | | (BT) |
| Meßmodul | | | (A6) |

## 2.4.1.2. Eichen des Meßgerätes für Spannungsmessungen

Um unseren Spannungsmesser zur Anwendung in unseren Schaltungen genauer zu eichen, benötigen wir ein zweites Meßgerät oder ein Spannungsnormal. Im Baukasten benutzen wir zur Herstellung eines Spannungsnormals die LED's.
Die Flußspannung einer Lichtemitterdiode besitzt eine ausreichende Konstanz, um den Meßmodul eichen zu können. Da es günstig ist, eine möglichst große Vergleichsspannung zu verwenden, sind, wie in Abb. 2.06-S gezeigt, die 4 im Baukasten vorhandenen LED's in Reihe geschaltet (VD1-VD4). Ihre Flußspannungen addieren sich dadurch zu 7 V.

**Baue die Schaltung nach Abb. 2.06-S auf!**

R1 ist noch vom Versuch nach Abb. 2.05-S eingestellt. Nach Betätigen des Schalters wird der Zeiger des Meßgerätes auf den 7 V entsprechenden Teilstrich der Skale eingestellt. Dazu verändern wir den Widerstand R1 des Meßmoduls. Dabei können wir auch überprüfen wie genau unsere Grobeichung war.
Wir haben jetzt ein Meßgerät mit einem 10 V-Meßbereich. Seine Genauigkeit ist für unsere Versuche ausreichend.

Abb. 2.06-A

## 2.4.2. Ein Strommesser

### 2.4.2.1. Erweiterung des Strommeßbereiches

Wir wollen unser Meßwerk auch zum Messen der Stromstärke verwenden. Es wird dann als Strommesser oder besser als Amperemeter bezeichnet. Das Meßwerk soll so beschaltet werden, daß ein maximaler Strom von 300 µA gemessen werden kann. Erreicht wird dies durch Parallelschalten eines Widerstandes zum Meßwerk, der die Stromdifferenz übernimmt. Man spricht dann von einem Nebenschlußwiderstand oder Shunt (aus dem Englischen, gesprochen: "Schänt"). Die Prinzipschaltung zeigt Abb. 2.07.

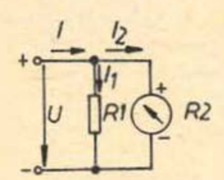



Abb. 2.07 Prinzipschaltung der Meßbereichserweiterung bei Strommessung

Der Widerstand R2 entspricht wiederum unserem Meßwerk. Um den Shunt (Widerstand R1) nach dem Ohmschen Gesetz berechnen zu können, benötigt man nur noch den Strom $I_1$, denn die Spannung U, die über parallelgeschalteten Widerständen abfällt, ist gleich, in unserem Fall 110 mV. Der zu messende Strom (I = 0,3 mA) teilt sich auf in den Strom durch das Meßwerk ($I_2$ = 0,2 mA) und den Strom durch den Shunt. Deshalb gilt:

$$I = I_1 + I_2$$

Und für $I_1$ gilt demzufolge:

$$I_1 = I - I_2$$
$$I_1 = 0{,}3 \text{ mA} - 0{,}2 \text{ mA}$$
$$I_1 = 0{,}1 \text{ mA}$$
$$I_1 = 0{,}0001 \text{ A}$$

Das Ohmsche Gesetz bestimmt den Wert für R1:

$$R1 = \frac{U}{I_1}$$

$$R1 = \frac{0,11\ V}{0,0001}$$

$$R1 = 1100\,\Omega$$

$$\underline{R1 = 1,1\ k\Omega}$$

Um diesen Wert genau einzustellen, wird wieder ein Schichtdrehwiderstand verwendet (R4 auf dem Meßmodul A6).

**Merke:**
Die Erweiterung des Meßbereiches für Strommessungen geschieht durch Parallelschaltung eines Shunts zum Meßwerk.

Wir bauen die Schaltung nach Abb. 2.08 auf!

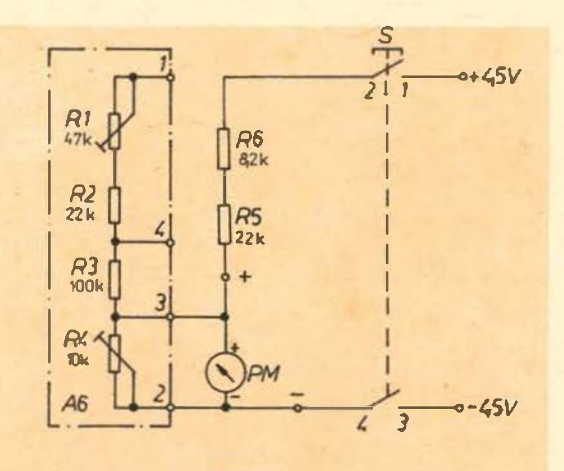



Abb. 2.08-S Strommessung, Grobeichung

| | | | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S | | (BT) |
| Schichtwiderstand | R5 | 22 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R6 | 8,2 kΩ | |
| Meßwerk | PM | | (BT) |
| Meßmodul | | | (A6) |

Abb. 2.08-A

Die beiliegende Skale (Meßbereich 0 - 300 µA) wird über dem Meßgerät in das Bedienteil eingeschoben, R4 auf etwa 1 kΩ eingestellt. Unter der Annahme, daß die Batterien 9 V Betriebsspannung liefern, begrenzen die Widerstände R5 und R6, nach Betätigen des Schalters S, den Strom auf 0,3 mA. Dies bedeutet Endausschlag für den Zeiger unseres Meßgerätes. Durch feinfühliges Verstellen von R4 des Meßmoduls A6 kann der Zeiger auf den Skalenwert 300 µA (= 0,3 mA) eingestellt werden.
Das Amperemeter ist jetzt grob eingestellt, muß aber für unsere Meßzwecke noch genau geeicht werden. Wir tun dies mit der Schaltung im folgenden Abschnitt.

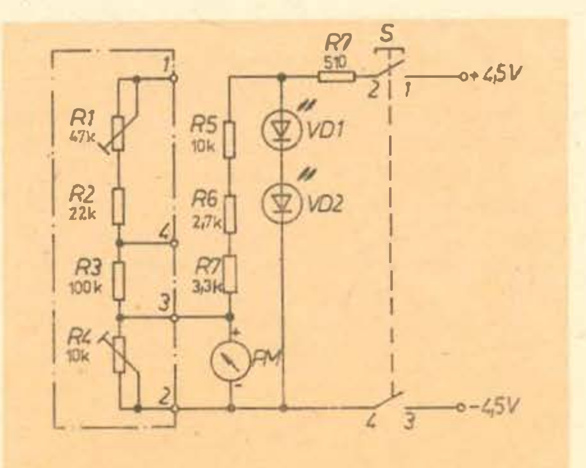



Abb. 2.09-S Eichen des Meßmoduls für Strommessungen (0 - 300 µA)

| | | | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S | | (BT) |
| Schichtwiderstand | R5 | 10 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R6 | 2,7 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R7 | 3,3 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R8 | 510 Ω | |
| Lichtemitterdiode | VD1 | VQA 23 | |
| Lichtemitterdiode | VD2 | VQA 23 | (BT) |
| Meßmodul | | | (A6) |
| Meßwerk | PM | | (BT) |

## 2.4.2.2. Eichung des Meßgerätes für Strommessungen

Zur Eichung ist es notwendig, einen genauen Stromwert zu erzeugen. Wir erreichen das, indem wir das Meßgerät über einen Widerstand an eine konstante Spannung bekannter Höhe anschließen.

Abb. 2.09-S zeigt den Schaltungsaufbau.

Abb. 2.09-A

Die LED's VD 1 und VD 2 (beide grünleuchtend) erzeugen eine gemeinsame Flußspannung von 4 V, welche eine ausreichende Konstanz besitzt.
Die Reihenschaltung von R5, R6 und R7 begrenzt den durch das Meßwerk und den Shunt (R4 auf A6) fließenden Strom auf 250 µA. Die Schaltung wird aufgebaut und der Zeiger des Meßwerkes durch Verändern von R4 des Meßmoduls A6 auf den 250 µA entsprechenden Teilstrich der Skala für die Strommessungen (0 - 300 µA) justiert. Das Meßgerät weist damit einen Endausschlag von 300 µA auf.

Beachte:
Das Meßgerät ist nun nicht nur als Spannungsmesser sondern auch als Strommesser (Meßbereiche 0-300 µA bzw. 0-10 V) geeicht. Damit wir in den folgenden Versuchen die richtigen Meßergebnisse erhalten, darf die Einstellung der Schichtdrehwiderstände R1 und R4 des Meßmoduls A6 nicht verändert werden.

Um die Stromlaufpläne übersichtlicher zu gestalten, wird in den nachfolgenden Versuchen die "Innenschaltung" des Meßmoduls nicht mehr dargestellt. Es wird nur noch eine vereinfachte Darstellung des Moduls mit der benötigten Anschlußbelegung angegeben.

### 2.4.3. Ein kombiniertes Strom-Spannungs-Meßgerät

Durch Verwendung eines Umschalters, welcher das Meßwerk an die entsprechenden Anschlüsse des in den vorherigen Versuchen geeichten Meßmoduls A6 schaltet, können wir wahlweise Ströme oder Spannungen messen.
Diese Funktion erfüllt im Stromlaufplan Abb. 2.10-S der Schalter S2.
Wir bauen die Schaltung nach Abb. 2.10-S auf!
Verbleibt S2 in der gezeichneten Stellung, arbeitet das Meßgerät als Voltmeter.
Nun setzen wir zwischen den Punkten A - B und C - D Brücken ein. Nach Betätigen des Schalters S1 lesen wir auf der Skale eine Spannung von 9V ab - volle Monozellen vorausgesetzt. Wird die Brücke zwischen C - D entfernt und auf C - E gesteckt, müssen 4,5 Volt angezeigt werden, da zwischen Minuspol der Batterie und Masse gemessen wird. Nach der Messung ist S1 zu öffnen.

Merke:
Vor Betätigen des Umschalters S2 bzw. vor Schaltungsumbau ist stets S1 zu öffnen.

Zur Strommessung wird S2 umgeschaltet, und die Brücken A - B und C - E werden entfernt. Nun setzen wir zwischen A - B zunächst den Widerstand R1 (= 100 kΩ) ein und stecken die Brükke C - D. Nach Betätigen des Schalters S1 lesen wir einen Strom von ca. 90 µA ab. Dieser ergibt sich nach dem Ohmschen Gesetz aus einer Spannung von 9 V und einem Widerstand von 100 kΩ :

$$I = \frac{U}{R}$$

$$I = \frac{9V}{100000\Omega}$$

$$I = 0{,}00009\ A$$

$$I = 90\ \mu A$$

Bei halber Batteriespannung (Brücke C - E gesteckt) messen wir nur ca. 45 µA, da sich Strom und Spannung bei konstantem Widerstand proportional verhalten.
Wir erreichen die ursprüngliche Stromstärke wieder, indem wir den Widerstand halbieren. Dazu ersetzen wir den 100 kΩ Widerstand durch 56 kΩ. (der Strom wird nicht ganz erreicht, da $56\ k\Omega > \frac{100\ k\Omega}{2}$ ist).

Die Ergebnisse fassen wir in der nachfolgenden Tabelle zusammen:

| U | R | I |
|---|---|---|
| 9 V | 100 kΩ | 90 µA |
| 4,5 V | 100 kΩ | 45 µA |
| 4,5 V | 56 kΩ | 90 µA |

Nach der Versuchsdurchführung trennen wir durch Betätigen von S1 die Schaltung von den Batterien!
Die Schaltung nach Abb. 2.10-S können wir zur Strom- und Spannungsmessung in den Versuchen benutzen.

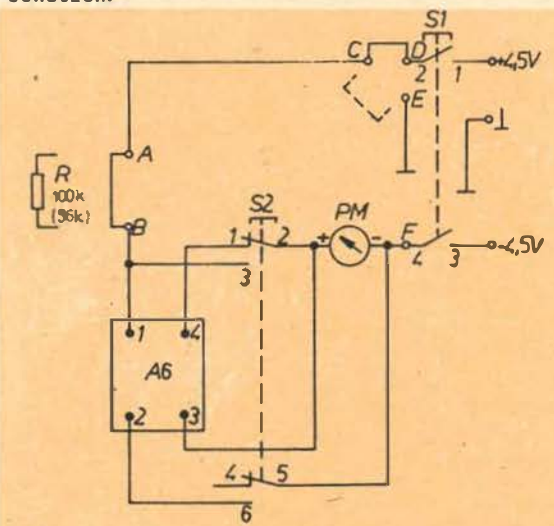
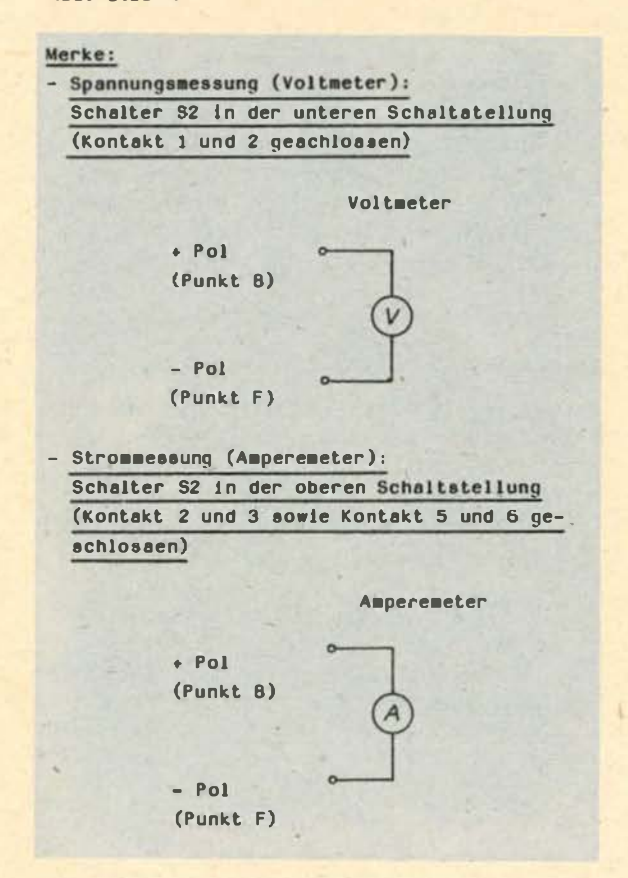



Abb. 2.10-S Kombinierte Strom-Spannungsmessung

| | | | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S1 | | (BT) |
| Schalter | S2 | | (BT) |
| Schichtwiderstand | R | 100 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R | 56 kΩ | |
| Meßwerk | | | (BT) |
| Meßmodul | | | (A6) |

Abb. 2.10-A



**Merke:**

- Spannungsmessung (Voltmeter):
  Schalter S2 in der unteren Schaltstellung (Kontakt 1 und 2 geschlossen)



- Strommessung (Amperemeter):
  Schalter S2 in der oberen Schaltstellung (Kontakt 2 und 3 sowie Kontakt 5 und 6 geschlossen)



**Beachte:**

- Bei Messungen ist immer die Schaltstellung von Schalter S2 zu berücksichtigen. Steht z. B. der Schalter S2 in der Stellung Amperemeter, dann dürfen wir damit keine Spannungen messen. Das Meßwerk des Anzeigeinstrumentes würde überlastet und schlimmstenfalls zerstört.
- Gleichfalls wird das Meßwerk durch ein Überschreiten des Meßbereiches überlastet, das heißt es dürfen keine Spannungen größer als 10 V und Ströme größer als 300 µA gemessen werden.
- Sollen andere Ströme und Spannungen gemessen werden, wird eine Umdimensionierung der Vor- bzw. Nebenwiderstände des Meßwerkes, sowie ein Neueichen nötig.

## 2.4.4. Wie genau können wir messen?

Während es nicht schwer ist die Länge von 1 m auf 1 mm genau abzumessen (der Fehler ist somit ± 0,1 %), müssen wir bei Messungen in elektrischen und elektronischen Schaltungen mit Fehlern bis zu 10 % und mehr rechnen. So auch bei unserem Baukasten.

Das ergibt sich aus folgenden Gründen:

1. Toleranzen des Meßgerätes (Meßwerk, Skale, Eichung)
2. Ablesegenauigkeit
3. Beeinflussung des zu messenden Stromkreises durch das Meßgerät

Allerdings reicht diese Genauigkeit auch in den meisten Fällen aus. Die Toleranz des Meßgerätes ist gegeben und die Ablesegenauigkeit hängt vom Betrachter ab.

Aber wie sieht die Beeinflussung des Meßwertes durch das Anschließen unseres Meßgerätes an den zu messenden Stromkreis aus?

Es entsteht ein Meßfehler dadurch, daß unser Meßwerk Strom benötigt. Dieser fließt durch die Kupferdrahtwicklung, die den Innenwiderstand $R_i$ darstellt.

Wir wollen jetzt den Innenwiderstand $R_i$ nach dem Ohmschen Gesetz berechnen und damit die Daten unseres Meßwerkes komplettieren.

Die Daten des Meßwerkes bei Vollausschlag sind:

U = 110 m V = 0,11 V
I = 200 µ A = 0,0002 A

$R_i$ errechnet sich nach dem Ohmschen Gesetz:

$$R = \frac{U}{I}$$

Also ist:

$$R_i = \frac{0{,}11\ V}{0{,}0002\ A}$$

$$R_i = 550\,\Omega$$

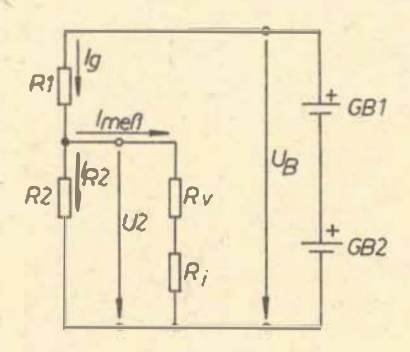



Abb. 2.11a Einfacher Stromkreis bei Spannungsmessung

Wie groß ist der Meßfehler bei der Spannungsmessung?

Betrachten wir dazu Abb. 2.11a, die einen einfachen Stromkreis mit dem Spannungsteiler $R_1$, $R_2$ darstellt. Mit dem Spannungsmesser, dargestellt durch Innenwiderstand $R_i$ und Vorwiderstand $R_v$, wird die Spannung über $R_2$ gemessen (Meßbereich 0 - 10 V). Innenwiderstand und Vorwiderstand stellen für den Spannungsteiler die Belastung dar. Die errechneten Werte der Spannung über $R_2$ für verschiedene Kombinationen von $R_1$, $R_2$ sind in der folgenden Tabelle zusammengefaßt.

| $U_B$ | $R_1$ | $R_2$ | $U_2$ unbelastet (ohne Meßgerät) | $U_2$ belastet (mit Meßgerät) | $R_2 \parallel R_i+R_v$ | Verhältnis $\frac{R_2}{R_i + R_v}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 V | 510 Ω | 510 Ω | 4,5 V | 4,48 V | 504,85 Ω | 0.0102 |
| 9 V | 22 kΩ | 22 kΩ | 4,5 V | 3,69 V | 15,278 kΩ | 0,44 |
| 9 V | 100 kΩ | 100 kΩ | 4.5 V | 2,25 V | 33,33 kΩ. | 2 |

Tabelle 2.01 Meßfehler bei der Spannungsmessung

Unser Spannungsmesser würde uns die Werte des belasteten Spannungsteilers anzeigen. Also eine geringere Spannung als $\frac{U_B}{2}$.

Wodurch entsteht dieser Meßfehler?
Das Meßgerät benötigt einen Strom der zusätzlich über $R_1$ fließt und den Spannungsabfall über $R_1$ vergrößert. Da sich die Gesamtspannung nicht verändert, wird die Spannung über $R_2$ entsprechend kleiner.
Besonders bei hochohmigen Meßobjekten muß man diese Fehlermöglichkeit beachten.

Dafür ein Beispiel:
Ist ein Transistor, der in Emitterschaltung angeschlossen ist, gesperrt, so ist die Spannung am Kollektor $U_{CE} \approx U_B$, da durch den Kollektorwiderstand im Prinzip kein Strom fließt. Messen wir diese Spannung mit unserem Meßgerät, so wird aber eine Spannung angezeigt, die wesentlich geringer als $U_B$ sein kann.
Diese Spannung ergibt sich, weil durch den Kollektorwiderstand $R_C$ der Meßwerkstrom $I_{MG}$ fließt und einen Spannungsabfall $U_{RC}$ erzeugt. Dadurch wird uns ein defekter Transistor vorgetäuscht.
Ein Zahlenbeispiel verdeutlicht das:

gegeben: $U_B = 9$ V
$R_C = 10$ kΩ
$I_{MG} = 0{,}2$ mA

gesucht: $U_{CE}$

$U_{CE} = U_B - R_C \cdot I_{MG}$
$U_{CE} = 9\text{ V} - 10\text{ k}\Omega \cdot 0{,}2\text{mA}$
$U_{CE} = 9\text{ V} - 2\text{ V}$
$U_{CE} = 7\text{ V}$

Die Abweichung beträgt 2 V.

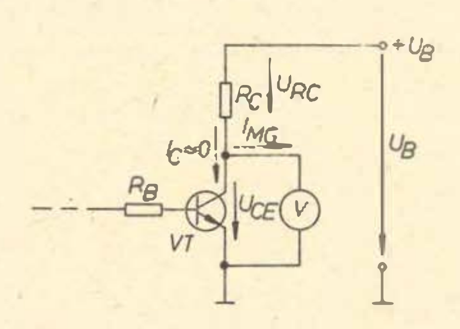



Abb. 2.11b Spannungsmessung am Transistor

Die Güte eines Voltmeters drückt sich im Grad der Belastung des Meßobjektes aus und wird durch den Wert Ω /V bzw. kΩ /V angegeben.
Unser Voltmeter hat 5 kΩ /V. Das bedeutet im 10 V Meßbereich wird das Meßobjekt mit 50 kΩ belastet.

Gute Zeigerinstrumente besitzen Werte von 20 kΩ /V. Sie benötigen nur einen Strom von 50 µA; sind also sehr empfindlich. In Stromlaufplänen von Rundfunkgeräten z. B. wird der Wert Ω /V immer mit angegeben, um bei Messungen die Vergleichbarkeit zu den im Stromlaufplan angegebenen Spannungswerten zu behalten.

**Merke:**
- Wegen der Belastung des Meßobjektes durch den Spannungsmesser sinkt die Spannung am Meßpunkt.
- Spannungsmesser sollten einen möglichst grossen Gesamtwiderstand besitzen.
- Der Meßfehler bei Spannungsmessung ist am geringsten, wenn das Verhältnis

$$\frac{\text{Meßobjektwiderstand}}{\text{Meßgerätewiderstand}} \left(\frac{R_2}{R_i + R_v}\right)$$

recht klein ist.

Auch bei der Strommessung ist der Widerstand des Meßgerätes bei der Messung zu berücksichtigen. Sehen wir uns die Abb. 2.12 an!
Sie zeigt ebenfalls einen einfachen Stromkreis, der aus Spannungsquelle und Verbraucher ($R_1$) gebildet wird. In Reihe zu $R_1$ ist unser Strommesser geschaltet (Meßbereich 0 - 300 µA).
Der Strommesser ist dargestellt durch den Innenwiderstand $R_i$ des Meßwerkes und den Shunt $R_S$ zur Meßbereichserweiterung.

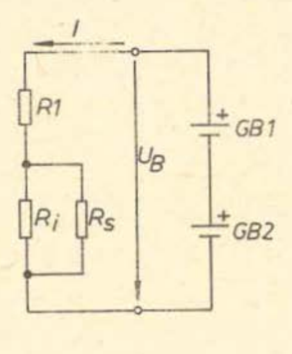



Abb. 2.12 Einfacher Stromkreis bei Strommessung

Die Kombination $R_i \parallel R_S$ (lies $R_i$ parallel $R_s$) hat im Meßbereich 0 - 300 µA den Gesamtwiderstand:

$$R_G = \frac{0{,}11\text{ V}}{0{,}0003\text{ A}}$$

$$R_G = 367\ \Omega$$

In der folgenden Tabelle ist bei verschiedenen Spannungen und Widerständen der Strom eingetragen.

| $U_B$ | $R_1$ | $R_i \| R_s$ | J ohne Meßgerät | J mit Meßgerät | Verhältnis $\frac{R_1 + [R_i \| R_s]}{R_i \| R_s}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0,45 V | 1,5 kΩ | 367Ω | 0,3 mA | 0,241 mA | 5 |
| 1,5 V | 5 kΩ | 367Ω | 0,3 mA | 0,279 mA | 15 |
| 9 V | 30 kΩ | 367Ω | 0,3 mA | 0,296 mA | 83 |

Tabelle 2.02 Meßfehler bei Strommessung

Die in der Tabelle für $R_1$ angenommenen Werte können mit den Widerständen im Baukasten wie folgt realisiert werden:

5 kΩ = 3,3 kΩ + 1,5 kΩ + 120Ω + 82Ω
30 kΩ = 22 kΩ + 8,2 kΩ

Wir erkennen, daß sich bei einem kleinen Verhältnis vom Gesamtwiderstand zum Meßgerätewiderstand der größte Meßfehler ergibt.

Merke:

- Durch die Einschaltung des Strommessers in den Stromkreis verringert sich der zu messende Strom.
- Strommesser sollten einen möglichst kleinen Gesamtwiderstand besitzen.
- Der Meßfehler bei Strommessung ist am geringsten, wenn das Verhältnis

$$\frac{\text{Gesamtwiderstand}}{\text{Meßgerätewiderstand}} \left( \frac{R_1 + R_i \| R_s}{R_i \| R_s} \right)$$

recht groß ist.

## 2.4.5. Die Wheatstone'sche Brücke zur Widerstandsmessung

Diese Schaltungsanordnung zum Ausmessen unbekannter Widerstände wurde nach ihrem Erfinder, dem englischen Physiker Wheatstone (sprich: "wietston"), benannt.

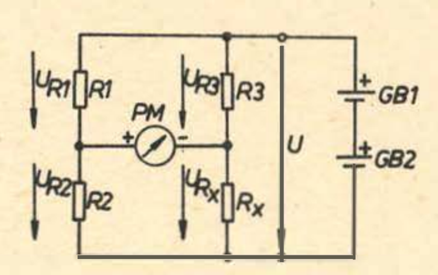



Abb. 2.13 Prinzipschaltung der Wheatstoneschen Brücke

In Abb. 2.13 ist die Prinzipschaltung der Wheatstonesche Brücke dargestellt. Das Meßinstrument befindet sich im Querzweig zwischen den beiden Spannungstellern R1 und R2 sowie R3 und Rx. Während des Meßvorganges wird das Verhältnis von R1 zu R2 so lange verändert, bis das Brückengleichgewicht hergestellt ist. Dies bedeutet, daß kein Spannungsunterschied im Querzweig vorhanden ist und der Zeiger des Meßinstrumentes auf 0 steht.

Die Abgleichbedingung für den unbekannten Widerstand Rx lautet:

| Widerstandsverhältnis | Spannungsverhältnis |
|---|---|
| $\frac{R1}{R2} = \frac{R3}{Rx}$ | $\frac{U_{R1}}{U_{R2}} = \frac{U_{R3}}{U_{Rx}}$ |
| $Rx = R3 \cdot \frac{R2}{R1}$ | |

In Abb. 2.14-S ist der Spannungsteller R1, R2 der Abb. 2.13 durch das 10 kΩ - Potentiometer ersetzt. Den anderen Zweig der Wheatstoneschen Brücke stellen die Widerstände R2 und R3 dar, wobei R3 der zu messende Widerstand ist. Mit dem Potentiometer können wir den Zeigerausschlag des Meßgerätes auf Null einstellen. Dann können wir auf der noch anzufertigenden Skale des Potentiometers den Widerstandswert ablesen. Wir bauen die Schaltung gemäß Abb. 2.14-S auf!

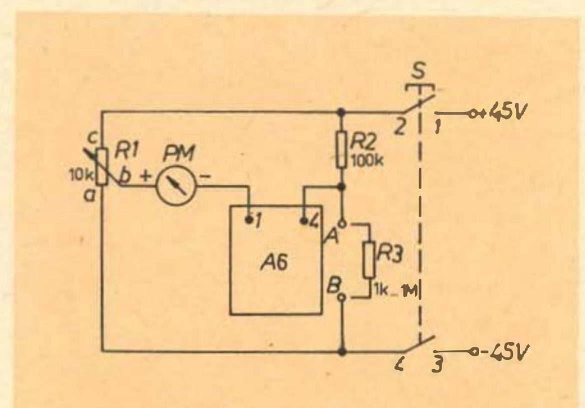



Abb. 2.14-S Wheatstone Brücke

| | | | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S | | (BT) |
| Schichtwiderstand | R2 | 100 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R3 | 1 kΩ ...1 MΩ | |
| Potentiometer | R1 | 10 kΩ | (BT) |
| Meßwerk | PM | | (BT) |
| Meßmodul | | | (A6) |

Abb. 2.14-A

Auf dem beiliegenden A4-Blatt haben wir eine zu eichende Skale für die Wheatstonebrücke vorbereitet.
Die Skale schneiden wir aus und schieben sie auf die Drehknöpfe der Potentiometer. Zusätzlich können wir sie mittels Klebestreifen auf der Bedienblende befestigen.

## Das Eichen der Skale

An die Klemmen A und B stecken wir nacheinander die folgenden Widerstände und stellen mittels Drehen am Potentiometer R1 0 V am Meßgerät ein:

1 kΩ , 10 kΩ , 22 kΩ , 56 kΩ , 100 kΩ , 330 kΩ , 1 MΩ .

Die jeweilige Stellung der Marke des Drehknopfes markieren wir auf der Skale mit dem Widerstandswert. Ein Beispiel für eine geeichte Skale zeigt uns Abb. 2.15.

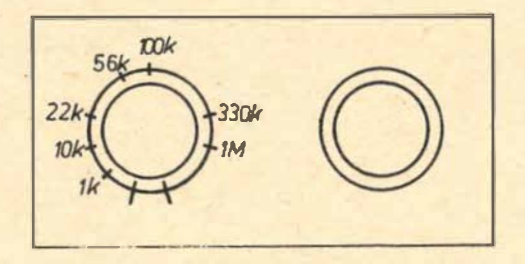



Abb. 2.15 Beispiel einer geeichten Skale

Nach dem Eichen der Skale können wir beliebige Widerstandswerte zwischen 1 kΩ und 1 MΩ bestimmen. Zwischenwerte auf der Skale müssen geschätzt werden – oder aber wir wiederholen die Eichung mit einer feineren Stufung der Widerstandswerte.

**Beachte:**
Das Meßgerät muß exakt Null anzeigen!
Der Zeiger darf sich nicht am linken Anschlag befinden. Schalter S beim Wechsel der Widerstände immer in Stellung Betriebsspannung "AUS" (untere Schaltstellung)!

## 2.5. Elektronische Meßgeräte

In diesem Abschnitt sollen zwei elektronische Meßgeräte vorgestellt werden. Ihre Parameter werden wesentlich durch aktive elektronische Bauelemente, in unserem Fall durch den beschalteten Operationsverstärker, bestimmt. In der praktischen Meßtechnik werden zunehmend elektronische Meßgeräte eingesetzt, da sie gegenüber den elektrischen Meßgeräten wesentliche Vorteile besitzen. In den Abschnitten 2.4.4. und 2.5.2. finden wir einige Hinweise dazu.

### 2.5.1. Direktanzeigendes Ohmmeter

Das im Folgenden beschriebene Meßgerät dient zum Ausmessen unbekannter Widerstände im Bereich von 10 kΩ bis 100 kΩ. Der Stromlaufplan ist in Abb. 2.16-S dargestellt.

Wir bauen die Schaltung auf!

| | | | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S1 | | (BT) |
| Schalter | S2 | | (BT) |
| Schichtwiderstand | R1 | 160 Ω | |
| Schichtwiderstand | R2 | 3,3 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R3 | 2,7 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R5 | 10 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R6 | 100 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R7 | 10...100 kΩ | |
| Schichtdrehwiderstand | R4 | 10 kΩ | (A4) |
| Potentiometer | R8 | 10 kΩ | (BT) |
| Lichtemitterdiode | VD | VQA 13-1 | |
| Operationsverstärker | N1, N2 | B 084 D | (A5) |
| Meßwerk | PM | | (BT) |

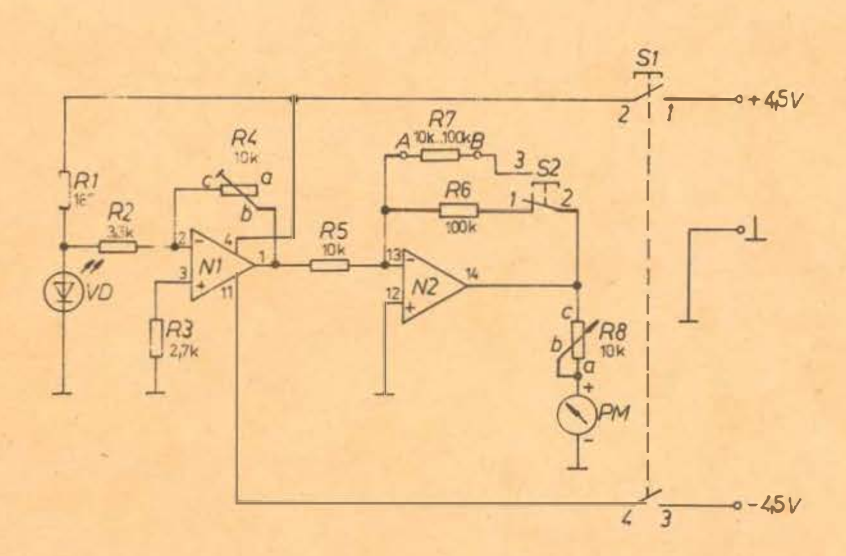



Abb. 2.16-S Direktanzeigendes Ohmmeter

Dabei ist zu beachten, daß diesmal nicht der Meßmodul zum Abgleich des Meßwerkes verwendet wird, sondern ein Potentiometer des Bedienteiles.
Zum Abgleich befindet sich der Schalter S2 in Stellung 1 und das Potentiometer R8 ungefähr in Mittenstellung. Mit R4 stellen wir am Meßwerk grob Vollausschlag ein und korrigieren bei Notwendigkeit mit R8 fein.
Diese Anzeige entspricht einem Widerstandswert von 100 kΩ. Auf der selbstanzufertigenden Skale des Meßwerkes bringen wir deshalb eine entsprechende Markierung an (Skale mit Grundlinie verwenden).

Für den Widerstand R7 stecken wir nun bekannte Widerstände im Bereich von 10 kΩ bis 100 kΩ ein. Nach Umschalten des Schalters S2 auf Stellung 3 markieren wir die Anzeige auf der Skale mit dem Wert des jeweils eingesteckten Widerstandes und haben somit eine geeichte Skale hergestellt.

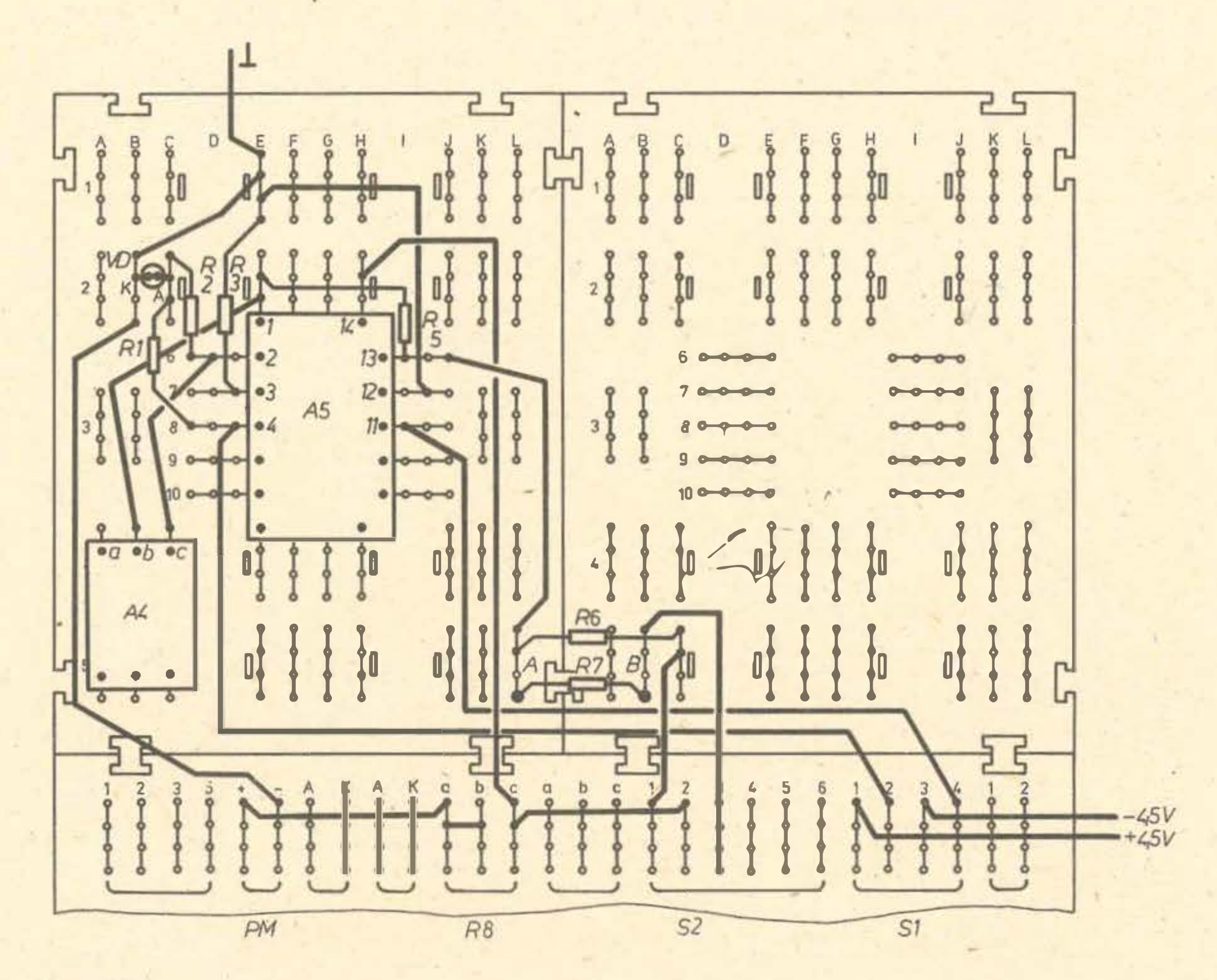



Abb. 2.16-A

Beachte:
- Die Einstellung von R4 ist nach der Eichung nicht mehr zu verändern.
- Mit R8 kann jederzeit der Vollausschlag korrigiert werden (S2 in unterer Schalterstellung).
- Statt R7 können jetzt unbekannte Widerstände ausgemessen werden.
- Die Größe wird vom Meßgerät direkt angezeigt.

Noch einige Erläuterungen zur Schaltung gemäß Abb. 2.16-S.
In der Schaltung arbeiten die beiden OV N1 und N2 in invertierendem Verstärkerbetrieb.
N1 stellt in Verbindung mit der LED VD eine Konstantspannungsquelle dar. Die konstante Flußspannung der LED wird durch N1 mit R4 einstellbar verstärkt. Die Verstärkung wird allerdings auf Werte <1 eingestellt, so daß N1 eigentlich einen "Abschwächer" darstellt. Dieser Begriff ist aber nicht üblich, wir sprechen immer von einem Verstärker. Die Verstärkung des 2. OV's N2 ist vom auszumessenden Widerstand abhängig.

Es gilt:

$$V = -\frac{R_7}{R_5}$$

Aus den Werten: $R_5 = 10\ k\Omega$

$R_7 = 10\ k\Omega \ldots 100\ k\Omega$

ergibt sich ein Bereich der Verstärkung von -1 bis -10. Die verstärkungsabhängige Ausgangsspannung von N2 wird durch das Meßwerk angezeigt und kann auf der betreffenden Skale als Widerstandswert abgelesen werden.

## 2.5.2. Ein Millivoltmeter

Das Meßwerk, wie es im Abschnitt 2.1 beschrieben wurde, weist einen Nachteil auf: es entzieht dem Meßobjekt während der Spannungsmessung einen Strom. Dadurch kommt es zu Meßfehlern.
Einen Ausweg bietet nun der Anschluß eines elektronischen Verstärkers mit hohem Eingangswiderstand zwischen Meßgerät und Meßstelle.
Die mögliche Verstärkung der Meßspannung bietet den Vorteil, daß man mit einem relativ unempfindlichen Meßgerät auch sehr kleine Spannungen im Millivoltbereich messen kann.

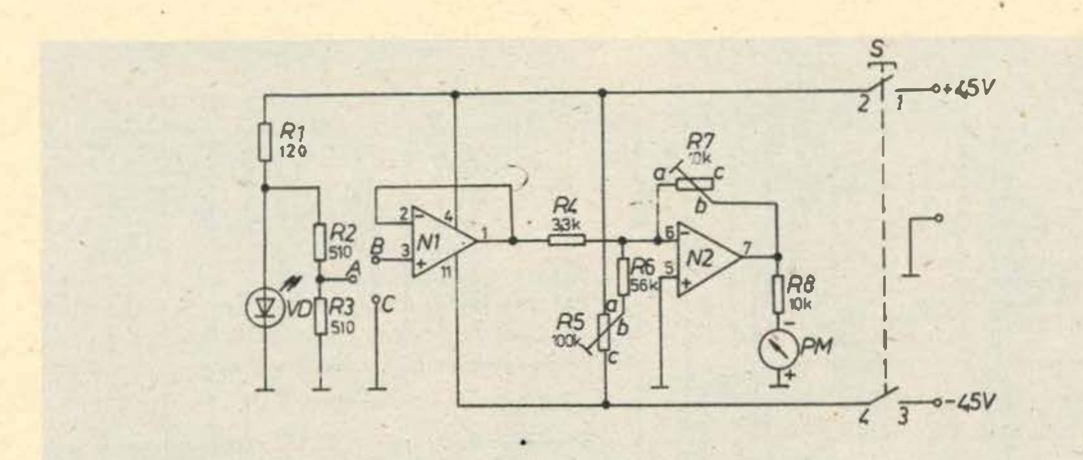



Abb. 2.17-S Millivoltmeter

| | | | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S | | (BT) |
| Schichtwiderstand | R1 | 120 Ω | |
| Schichtwiderstand | R2 | 510 Ω | |
| Schichtwiderstand | R3 | 510 Ω | |
| Schichtwiderstand | R4 | 3,3 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R6 | 56 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R8 | 10 kΩ | |
| Schichtdrehwiderstand | R5 | 100 kΩ | (A4) |
| Schichtdrehwiderstand | R7 | 10 kΩ | (A4) |
| Lichtemitterdiode | VD | VQA 13-1 | |
| Operationsverstärker | N1, N2 | B 084 D | (A5) |
| Meßwerk | PM | | (BT) |

Abb. 2.17-A

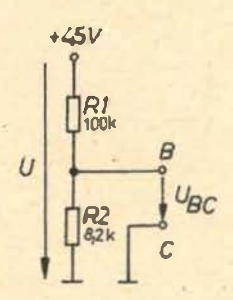
Betrachten wir die Abb. 2.17-S!
In diesem Stromlaufplan erfüllt der Spannungsfolger mit dem OV N1 die Forderung nach einem sehr hohen Eingangswiderstand. Seine Spannungsverstärkung beträgt +1. Mit N2 wurde der Anzeigeverstärker realisiert, bei welchem mit dem Schichtdrehwiderstand R5 der Nullpunkt und mit R7 die Verstärkung einstellbar ist. Mit der Verstärkung von N2 wird die Empfindlichkeit des Meßgerätes festgelegt.
Zum Abgleich wird durch den Schaltungsteil mit der LED VD und den Widerständen R1 bis R3 eine stabilisierte Spannung von 0,9 V (halbe LED-Spannung) am Punkt A bereitgestellt. Unmittelbar nach dem Aufbau der Schaltung gemäß der Abb. 2.17-S eichen wir das Millivoltmeter. Dazu verwenden wir die Skale für das Millivoltmeter.
Folgende Reihenfolge ist einzuhalten:

1. Die Brücke BC wird gesteckt und der Zeigerausschlag des Meßwerkes mit dem Schichtdrehwiderstand R5 auf Null eingeregelt.
2. Die Brücke BC wird entfernt und zwischen A und B gesteckt. Mit dem Schichtdrehwiderstand R7 wird der Zeiger auf den 9. Teilstrich der Skala des Millivoltmeters (≙900 mV) eingestellt.
3. Der Abgleich nach Punkt 1. und 2. ist nochmals zu wiederholen.

Das Millivoltmeter besitzt jetzt einen Endausschlag von 1 V. Damit sind Spannungen ab ca. 100 mV meßbar.

Beachte:
Die zu messende Spannung wird an den Punkten B-C angelegt, wobei an Punkt B der positive und an Punkt C der negativere Pol der Spannung angeschlossen wird.

Beispiel:
Wir wollen die Teilspannung ($U_{BC}$) über dem Widerstand R2 eines hochohmigen Spannungsteilers messen. Unser einfacher Spannungsmesser aus Abschnitt 2.4.1. würde hier auf Grund seines geringen Innenwiderstandes versagen. Er entzieht dem Spannungsteiler R1. R2 zuviel Strom und würde das Meßergebnis verfälschen. Wir verwenden deshalb zur Durchführung der Messung unser Millivoltmeter nach Abb. 2.17-S.




Wir überprüfen durch Rechnung nach der Spannungsteilerregel die Richtigkeit des Meßergebnisses!

# 3. Meßtechnik in einfachen Schaltungen

In diesem Abschnitt wollen wir in einfachen Schaltungen den Umgang mit dem Meßinstrument, insbesondere seine Anwendung zur Strom- und Spannungsmessung üben und unsere Kenntnisse aus dem Anleitungsheft 1 durch praktische Messungen vertiefen. Wir beginnen als erstes mit einem wichtigen Bestandteil jeder elektronischen Schaltung, der Spannungsversorgung. In unserem Baukasten wird sie durch sechs Monozellen realisiert.

## 3.1. Reihenschaltung von Spannungsquellen

Bei der Reihenschaltung von Spannungsquellen, wie sie bei den Monozellen in den Batteriefächern erfolgt, addieren oder subtrahieren sich die Einzelspannungen. Bestimmend dafür ist die Polarität, mit der die Zusammenschaltung erfolgt.
Die Spannung, die wir über einer Monozelle bei Stromentnahme messen ist abhängig von ihrem Alterungszustand. Eine Monozelle besteht aus der angenommenen Reihenschaltung der "Elektro-motorischen Kraft", abgekürzt mit EMK oder E und dem Innenwiderstand $R_i$. Die EMK ergibt sich aus der elektrochemischen Spannungsreihe der verwendeten Materialien. Bei einer "idealen" Monozelle mit Belastung oder einer normalen Zelle ohne Belastung würden wir diese EMK als $U_B$ messen.
Der Innenwiderstand $R_i$ ist ein "gedachter" Widerstand in der Monozelle, an dem bei Stromfluß (im geschlossenen Stromkreis) Spannung abfällt, die nicht für die Schaltung zur Verfügung steht. Je mehr die Monozelle verbraucht ist, desto größer ist dieser Innenwiderstand, der durch das Innenleben der Monozelle gebildet wird. $R_i$ beträgt bei frischen Zellen etwa 0,3 Ω und steigt bis auf Werte über 10 Ω an. Die an der Monozelle meßbare Spannung ergibt sich damit aus der Differenz zwischen EMK und dem inneren Spannungsabfall über $R_i$

$$U_B = E - I_B \cdot R_i$$

In den folgenden zwei Beispielen wollen wir die Zusammenschaltung von Monozellen näher betrachten.
Dabei gehen wir von vollen Monozellen aus und vernachlässigen den Innenwiderstand.

1. Beispiel:

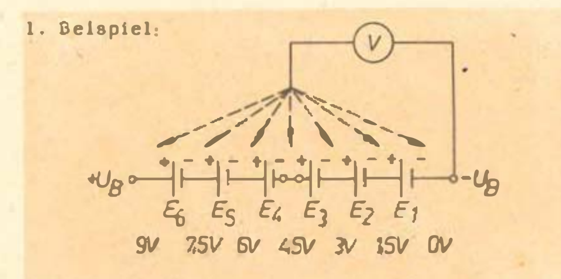



Abb. 3.01-S Reihenschaltung der Spannungsquellen (9 V)

Für die Gesamtspannung $E_{ges}$ gilt:

$$E_{ges} = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6$$

Die Einzelspannungen sind immer mit ungleichnamigen Polen zusammengeschaltet. Die Spannung einer Monozelle beträgt 1,5 V. Also erhält man für $E_{ges}$ eine Spannung von 9 V.

2. Beispiel:

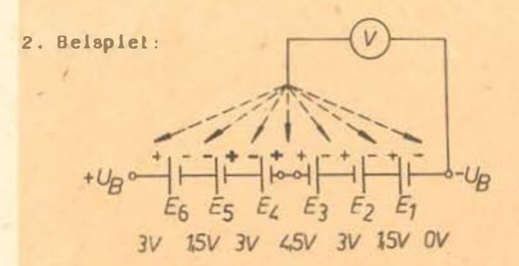



Abb. 3.02-S Reihenschaltung der Spannungsquellen (3 V)

Für die Gesamtspannung $E_{ges}$ gilt in diesem Fall:

$$E_{ges} = E_1 + E_2 + E_3 - E_4 - E_5 + E_6 ,$$

da die Polarität von $E_4$ und $E_5$ der von $E_1$ bis $E_3$ und $E_6$ entgegengesetzt ist. Man erhält für $E_{ges}$ eine Spannung von 3 V.

Für die meßtechnische Überprüfung der Betrachtungen unter 1. und 2. ordnet man zweckmäßigerweise die beiden Batteriefächer längs nebeneinander an und verbindet ihre einander zugewandten Anschlüsse.

Man baut die Schaltung des Meßgerätes gemäß Abb. 3.03-S auf und legt die Monozellen entsprechend der Anordnung auf den Abbildungen 3.01 bzw. 3.02 ein!

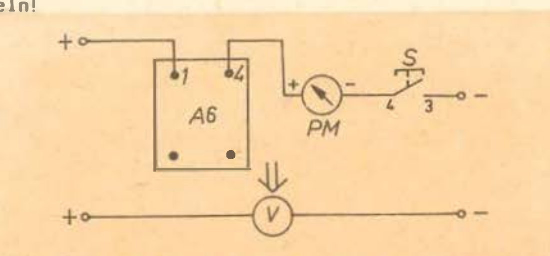



Abb. 3.03-S Spannungsmesser für Abb. 3.01-S und Abb. 3.02-S

| | | |
|---|---|---|
| Schalter | S | (BT) |
| Meßwerk | PM | (BT) |
| Meßmodul | | (A6) |

Abb. 3.03-A

Wir überprüfen die Rechnung durch Messung der Spannungen!

Nach Beendigung des Versuches legen wir die Monozellen wieder ordnungsgemäß ein, so daß die Versorgungsspannungen +4,5 V und -4,5 V für die folgenden Versuche zur Verfügung stehen!

## 3.2. Vom Spannungsteiler zum Potentiometer

Sehr häufig wird in der Elektronik eine einstellbare Spannung benötigt. Eine Möglichkeit, dies zu realisieren, stellt die Reihenschaltung von Widerständen dar, wie sie Abb. 3.04 - S zeigt.

Wir bauen die Schaltung nach Abb. 3.04-S auf und tasten die Verbindungspunkte der Widerstände mit dem Meßgerät ab!

Was stellen wir fest?

Wir messen von Punkt C nach Punkt A eine immer größere Spannung. Das muß auch so sein, da in einer Reihenschaltung von Widerständen an jeder Stelle der Schaltung der gleiche Strom fließt und sich die Teilspannungen nach dem Ohmschen Gesetz proportional zum Widerstand verhalten.

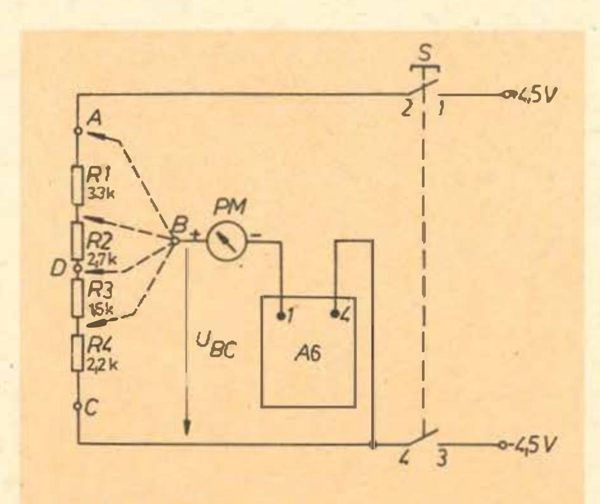



Abb. 3.04-S fester Spannungsteller

| | | | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S | | (BT) |
| Schichtwiderstand | R1 | 3,3 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R2 | 2,7 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R3 | 1,5 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R4 | 2,2 kΩ | |
| Meßwerk | PM | | (BT) |
| Meßmodul | | | (A6) |

Abb. 3.04-A

Abb. 3.05-A

Beispiel: Die Spannung zwischen Punkt C und Punkt D ergibt sich nach dem Ohmschen Gesetz:

$$U_{CD} = I \cdot R_{CD} \text{ mit } R_{CD} = R3 + R4$$

$$U_{CD} = I \cdot (R3 + R4)$$

Mit der Anordnung der Widerstände nach Abb. 3.04-S erhält man drei, durch die Widerstände R1 bis R4 bestimmte, Teilspannungen. Die größtmögliche Spannung messen wir am Punkt A. Sie entspricht der Batteriespannung (9 V). Die kleinstmögliche Teilspannung messen wir über dem Widerstand R4 (≈ 2 V).

**Merke:** Mit diesem Spannungsteiler können mehrere feste Spannungen entsprechend den Widerstandswerten eingestellt werden.

Wir bauen nun die Schaltung gemäß Abb. 3.05-S auf.

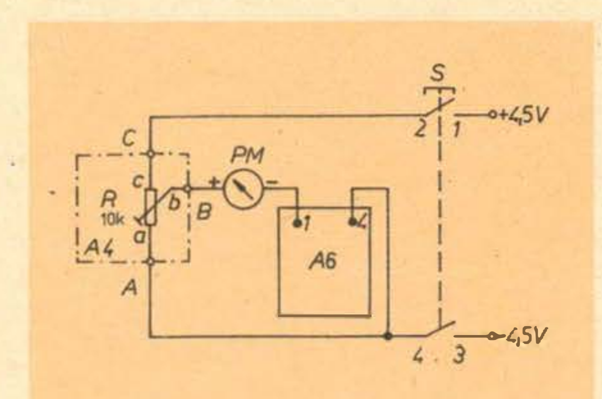



Abb. 3.05-S Schichtdrehwiderstand als einstellbarer Spannungsteiler

| | | | |
|---|---|---|---|
| Schichtdrehwiderstand | R | 10 kΩ | (A4) |
| Meßwerk | PM | | (BT) |
| Meßmodul | | | (A6) |

Bemerkung: Die Stromlaufpläne Abb. 3.04-S und 3.05-S haben einen gemeinsamen Aufbauplan!

Die Widerstände R1 bis R4 werden durch die Widerstandsbahn eines Schichtdrehwiderstandes auf dem Modul A4 ersetzt. Dieselbe Funktion wie dieser Schichtdrehwiderstand hat auch das Potentiometer im Bedienteil.
Das Meßgerät zeigt nach Einschalten von S die Spannung am Schleifkontakt an. Sie liegt zwischen 0 V (Schleifer am Punkt C) und der vollen Batteriespannung (Schleifer an Punkt A). Es kann jeder beliebige Zwischenwert eingestellt und gemessen werden.

**Merke:** Mit einem Potentiometer bzw. einem Schichtdrehwiderstand kann eine beliebige Teilspannung eingestellt werden.

## 3.3. Anwendungen des Potentiometers

In diesem Versuch soll genauer auf zwei Anwendungen des Potentiometers eingegangen werden. Zunächst wird eine Möglichkeit gezeigt, das Potentiometer auf einen bestimmten Widerstandswert einzustellen. Man nutzt dazu aus, daß das Potentiometer ein kontinuierlich einstellbarer Spannungsteiler ist.

Aufgabe:
Gefordert sei ein Widerstand von 2 kΩ zwischen den Anschlüssen A und B des Potentiometers.
Wir bauen die Schaltung gemäß Abb. 3.06-S auf (R2 wird zunächst noch nicht gesteckt)!
Der Widerstand zwischen den Anschlüssen A und B ($R_{AB}$) ist nach folgender Gleichung, die wir später euch herleiten wollen, von der gemessenen Spannung $U_{BA}$ abhängig:

$$U_{BA} = \frac{R_{BA}}{10\ k\Omega} \cdot U_{CA}$$

$U_{CA}$ ist mit der Batteriespannung identisch, da die Punkte A und C mit der Batterie verbunden sind (bei vollen Monozellen ≈9 V). Durch Einsetzen der Größen erhält man:

$$U_{BA} = \frac{2\ k\Omega}{10\ k\Omega} \cdot 9\ V$$

$$U_{BA} = 1{,}8\ V$$

Stellt man am Schleifer des Potentiometers (Punkt B) die Spannung 1,8 V ein, dann besteht zwischen A und B der geforderte Widerstandswert von 2 kΩ.
Die Gleichung für $U_{BA}$ kann durch folgende Überlegung hergeleitet werden:
Im unbelasteten Potentiometer, d.h. es fließt kein Strom über den Schleifkontakt, werden beide Teilwiderstände $R_{CB}$ und $R_{BA}$ vom gleichen Strom durchflossen (Abb. 3.07). Das Meßgerät, welches am Punkt B angeschlossen ist, benötigt einen geringen Strom, den wir aber bei unseren Betrachtungen nicht berücksichtigen.

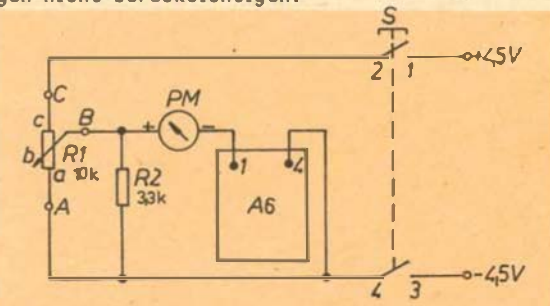



Abb. 3.06-S Messungen am unbelasteten und belasteten Spannungsteiler

| | | | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S | | (BT) |
| Schichtwiderstand | R2 | 3,3 kΩ | |
| Potentiometer | R1 | 10 kΩ | (BT) |
| Meßwerk | PM | | (BT) |
| Meßmodul | | | (A6) |

Abb. 3.06-A

Abb. 3.07 Spannungen und Ströme am unbelasteten Potentiometer

Nach dem Ohmschen Gesetz gilt für die Teilspannungen $U_{CB}$ und $U_{BA}$:

$$U_{CB} = I \cdot R_{CB} \text{ und } U_{BA} = I \cdot R_{BA}$$

Der Strom I hat folgende Bestimmungsgleichung:

$$I = \frac{U_{CA}}{R_{CB} + R_{BA}}$$

$U_{CA}$ ist die Batteriespannung und die Summe $R_{CB}$ + $R_{BA}$ entspricht dem gesamten Widerstandswert des Potentiometers ($R_{CA}$). Da die Spannung $U_{BA}$ gemessen werden soll, setzen wir die Bestimmungsgleichung für I in die Gleichung für $U_{BA}$ ein:

$$U_{BA} = \frac{U_{CA}}{R_{CB} + R_{BA}} \cdot R_{BA} = \frac{R_{BA}}{R_{CB} + R_{BA}} \cdot U_{CA}$$

Durch Einsetzen der Zahlenwerte entsteht die am Anfang des Versuches genannte Gleichung.
Wie sieht aber das Ergebnis des Versuches aus, wenn das Potentiometer belastet wird?
Belastung bedeutet, daß ein zusätzlicher Strom am Punkt B entnommen wird. Wir schalten deshalb den Widerstand R2 zwischen die Punkte A und B!
Der durch das Meßgerät angezeigte Wert wird kleiner. Soll die berechnete Spannung von 1,8 V erreicht werden, muß ein größerer Widerstandswert $R_{BA}$ eingestellt werden. Deshalb ist es nicht möglich, am belasteten Spannungsteiler nur durch

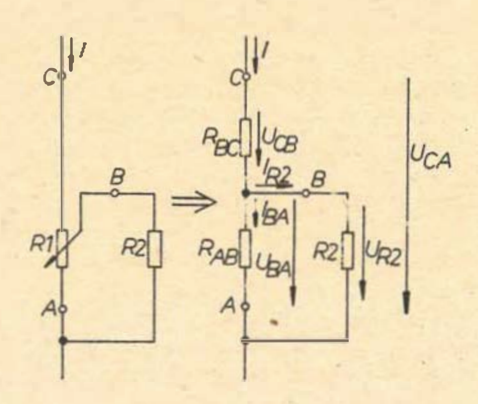



Abb. 3.08 Spannungen und Ströme am belasteten Potentiometer

eine Spannungsmessung auf den eingestellten Widerstandswert zu schlußfolgern. Die Gleichung für $U_{BA}$ gilt nicht mehr am belasteten Potentiometer. Um den Widerstandswert $R_{BA}$ zu berechnen, müssen wir alle Ströme berücksichtigen.

In Abb. 3.08 erkennt man die jetzt veränderte Stromverteilung. Der Gesamtstrom I ergibt sich aus der Summe von $I_{BA}$ und $I_{R2}$. Näheres zur Berechnung solcher Schaltungen lernen wir im nächsten Abschnitt des Anleitungsheftes kennen.

Da sich aber am belasteten Potentiometer dennoch jeder Spannungswert zwischen Null Volt und der Batteriespannung einstellen läßt, ergibt sich eine weitere Anwendung des Potentiometers. An eine konstante Last, wie sie ein Widerstand darstellt, oder an die Basis-Emitter-Strecke eines Transistors zur Arbeitspunkteinstellung, kann eine einstellbare Spannung angelegt werden.

## 3.4. Messung der Stromverteilung in Widerstandsschaltungen

Das Wissen über die Strom- und Spannungsverteilung in einer Schaltung ist sehr wichtig für das Verständnis ihrer Funktion und für die Dimensionierung beim Entwurf einer eigenen Schaltung. Um selbst solche Schaltungen berechnen zu können, benötigen wir u.a. die theoretischen Grundlagen, die in Form der Kirchhoffschen Regeln zur Verfügung stehen.

Kirchhoff war ein Wissenschaftler, der sich mit wesentlichen Grundlagen der Elektrotechnik befaßte. Aus diesem Grunde erhielten die von ihm aufgestellten Regeln auch seinen Namen.

**Merke:**
Die Beziehung der Ströme eines Knotenpunktes einer Schaltung ist in der 1. Kirchhoffschen Regel (Knotenpunktsatz) zusammengefaßt.
Sie lautet:

> Die Summe der in einen Knotenpunkt hineinfließenden Ströme ist gleich der Summe der herausfließenden Ströme.

Für den Nachweis wurde die einfache, aus 2 Widerständen bestehende Schaltung nach Abb. 3.09-S gewählt.

Wir bauen die Schaltung zunächst mit den 3 Brükken A - B, C - D und E - F auf!

Das Meßgerät ist als Strommesser geschaltet.

Der Knotenpunkt ist in unserer Schaltung die Verbindung zwischen den Klemmen B, D und E. Wir haben ihn zusätzlich durch einen Kreis gekennzeichnet. Hier fließen die Ströme $I_1$ und $I_2$ hinein und der Strom $I_3$ heraus.

Wir messen jetzt nacheinander die durch R1 und R2 fließenden Ströme, indem die Anschlüsse des Strommessers statt der Brücken A - B und C - D eingesteckt werden.

Die Summe dieser beiden Ströme muß gleich dem über die Brücke E - F aus dem Knotenpunkt herausfließenden Strom sein.

Für den Knotenpunkt gilt:

$$I_3 = I_1 + I_2$$

Diese einfache Gleichung kann nach jedem Strom umgestellt werden.

Wir überprüfen dies durch Messung!

Bei einer Batteriespannung von 9,5 V fließen folgende Ströme:

$$I_1 = 95\ \mu A$$
$$I_2 = 30\ \mu A$$
$$I_3 = 125\ \mu A$$

Die Kenntnis der 1. Kirchhoffschen Regel ermöglicht uns, die 3 Ströme ($I_1$ bis $I_3$) nur durch 2 Messungen zu bestimmen. Der Dritte kann berechnet werden! Das erweist sich als günstig, wenn eine Verbindung nicht aufgetrennt werden kann.

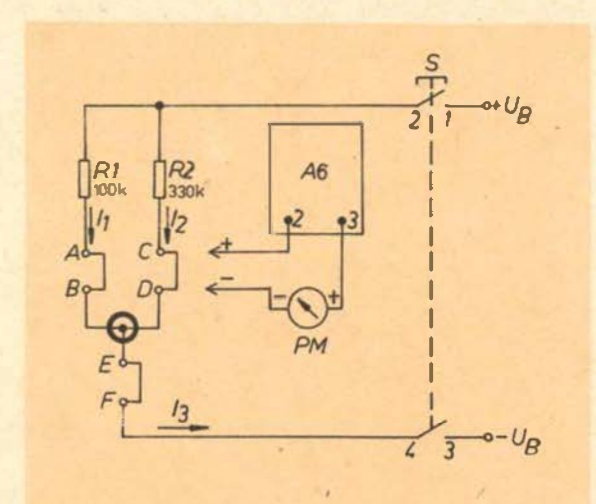



Abb. 3.09-S Stromverteilung in Widerstandsschaltungen

| | | | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S | | (DT) |
| Schichtwiderstand | R1 | 100 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R2 | 330 kΩ | |
| Meßwerk | PM | | (BT) |
| Meßmodul | | | (A6) |

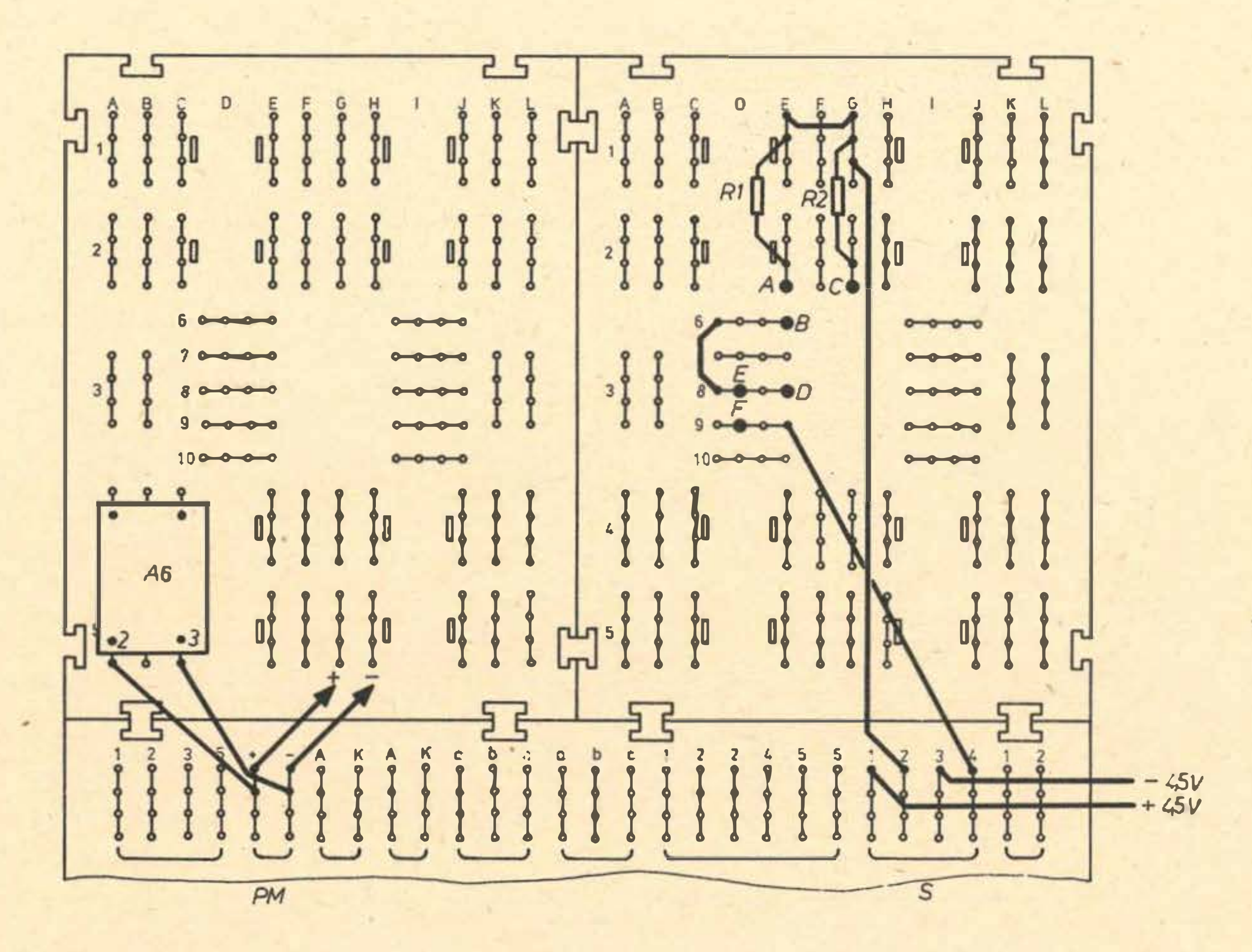



Abb. 3.09-A

## 3.5. Messung von Spannungsabfällen

Dabei handelt es sich nicht, wie man vermuten könnte, um die Messung von entladenen Batterien! Mit Spannungsabfall bezeichnet man die Spannung, die über einen Widerstand abfällt, das heißt an ihm meßbar ist, wenn ein Strom durch ihn fließt. Diese Spannungen haben eine große Bedeutung für die Funktion einer Schaltung, ähnlich den Strömen des vorhergehenden Versuches. Der Wissenschaftler Kirchhoff fand einen Zusammenhang zwischen den Spannungen im Stromkreis

**Merke:**
- Die 2. Kirchhoffsche Regel (Maschenregel):

  Die Summe aller Spannungen in einer Masche ist gleich Null.

- Mit "Masche" bezeichnet man einen Bauelementering in einer Schaltung (siehe auch Anleitungsheft 1 Abb. 5.08)
- Jede Masche stellt einen separaten Stromkreis dar.
- Beim Festlegen der Maschen in einer Schaltung müssen wir darauf achten, das wir jedes Bauelement mindestens einmal erfassen.

Wir betrachten das in Abb. 3.10-S dargestellte Widerstandsnetzwerk!
Es lassen sich 3 Maschen benennen:
1. Masche: $R_3 \rightarrow$ Batterie $\rightarrow R_4 \rightarrow R_3$
2. Masche: $R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow R_3 \rightarrow R_1$
3. Masche: $R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow$ Batterie $\rightarrow R_4 \rightarrow R_1$

Dabei ist es unerheblich, ob Widerstände oder die Batterie die Bauelemente sind, denn die Hauptsache ist, daß man zum Ausgangspunkt der Masche zurückgelangt. Die Masche muß geschlossen sein. In Abb. 3.10-S sind alle Spannungen mit Polaritätspfeilen von + nach − versehen.
Sie helfen, die Maschengleichungen richtig aufzustellen. Zur besseren Übersichtlichkeit tragen die Spannungen die gleiche Numerierung wie die dazugehörigen Widerstände. Wir wählen uns eine Richtung in der Masche, z. B. die Bezeichnungsfolge, wie sie unter 1. bis 3. genannt ist.

**Merke:**
- Spannungen, deren Pfeile in der gewählten Richtung verlaufen, werden addiert
- Spannungen, deren Pfeile in die entgegengesetzte Richtung verlaufen, werden subtrahiert.

Abb. 3.10-S Messung von Spannungsabfällen

| | | | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S | | (BT) |
| Schichtwiderstand | R1 | 1,5 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R2 | 3,3 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R3 | 510 Ω | |
| Schichtwiderstand | R4 | 1 kΩ | |
| Meßwerk | PM | | (BT) |
| Meßmodul | | | (A6) |

Abb. 3.10-A

Wir stellen die Maschengleichungen auf!

Masche I $(R_3 \rightarrow \text{Batterie} \rightarrow R_4 \rightarrow R_3)$:

$+ U_3 - U + U_4 = 0$

Masche II $(R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow R_3 \rightarrow R_1)$:

$+ U_1 + U_2 - U_3 = 0$

Masche III $(R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow \text{Batterie} \rightarrow R_4 \rightarrow R_1)$:

$+ U_1 + U_2 - U + U_4 = 0$

Wir bauen die Schaltung nach Abb. 3.10-S auf und überprüfen die Richtigkeit der aufgestellten Maschengleichungen durch Messung und Einsetzen der Meßwerte in diese Gleichungen.

## 3.6. Messungen am RC-Glied

Das RC-Glied wird häufig als zeitbestimmendes Element in einfachen zeitabhängigen Schaltungen, wie dem Mono-Flop angewendet.
Einige grundlegende Betrachtungen dazu sind bereits im Anleitungsheft 1 Abschnitt 2.2.5. enthalten.
Ein Kondensator wird über einen Widerstand aufgeladen oder entladen. Die Kondensatorspannung $U_C$ ändert sich dabei nach einer ganz bestimmten Funktion, die später noch erläutert werden soll.
Wir bauen zunächst die Schaltung nach Abb. 3.11-S auf!

Der Kondensator ist entladen und damit spannungslos. Nach dem Zuschalten der Versorgungsspannung beobachten wir ein langsames Ansteigen der Kondensatorspannung. Wird die Spannung abgeschaltet, sinkt die Spannung am Kondensator langsam ab.

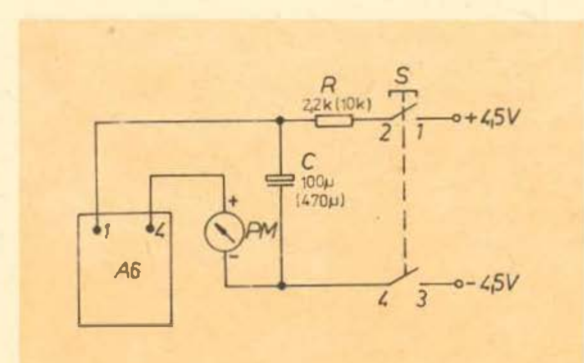



Abb. 3.11-S Messungen am Kondensator

| | | | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S | | (BT) |
| Schichtwiderstand | R | 2,2 kΩ (10 kΩ) | |
| Elektrolytkondensator | C | 100 µF (470 µF) | |
| Meßwerk | PM | | (BT) |
| Meßmodul | | | (A6) |

Abb. 3.11-A

**Wir stellen fest:**

Die sprungartigen Spannungsänderungen, die durch Betätigen des Schalters entstehen (Spannung sofort Ein bzw. Aus), werden in langsame Änderungen der Kondensatorspannung $U_C$ umgewandelt. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, Schaltvorgänge zeitlich zu verzögern.

Genau betrachtet, verläuft die Änderung der Kondensatorspannung nach einer Exponentialfunktion ($y = e^x$). In Abb. 3.12 ist der Verlauf grafisch in einem Spannungs-Zeitdiagramm dargestellt. Dabei ist auf der waagerechten Achse dieses Diagrammes die Zeit t und auf der senkrechten Achse die Kondensatorspannung $U_C$ in Prozent (%) aufgetragen. Für jeden Zeitpunkt läßt sich der Wert der Kondensatorspannung in Prozent ablesen (100 % entsprechen der vollen Batteriespannung!). Für die charakteristischen Werte $1\tau$ und $3\tau$ haben wir die Hilfslinien eingezeichnet.

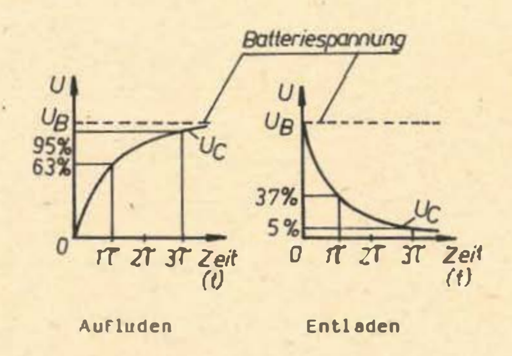



Abb. 3.12 Auf- und Entladevorgang am Kondensator

**Merke:**

- Für den Entladevorgang gilt die Formel:

$$U_C = U_B \cdot \left(e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \qquad e \text{ - natürliche Zahl} \approx 2{,}7$$

- Für den Aufladevorgang gilt:

$$U_C = U_B \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

- $\tau$ (gesprochen: tau) charakterisiert das zeitliche Verhalten des RC-Gliedes und wird deshalb Zeitkonstante genannt.

  Berechnet wird $\tau$ :

$$\tau = R \cdot C$$

Die Maßeinheit von $\tau$ ist die Sekunde (s).

Nun ein Beispiel für die Berechnung der Zeitkonstante:

geg.: $R = 10\ k\Omega$ ges.: $\tau$

$C = 470\ \mu F$

$\tau = R \cdot C$

$\tau = 10\ k\Omega \cdot 470\ \mu F$

$\tau = 10000\ \frac{V}{A} \cdot 0.0004\ \frac{As}{V}$

$\underline{\underline{\tau = 4{,}7\ s}}$

Die Zeitkonstante des RC-Gliedes beträgt 4,7 s. Bei der Aufladung des Kondensators hätte die Kondensatorspannung nach 4,7 s 63 % der Höhe der Batteriespannung erreicht.

Wir überprüfen die Abhängigkeit des Zeitverhaltens des RC-Gliedes in Abhängigkeit von Widerstand und Kondensator entsprechend der Kombinationen in der Tabelle 3.01. Schätze die Zeitdauer der Lade- und Entladevorgänge und vergleiche mit den Werten für $\tau$ in der Tabelle!

Die angegebenen Gleichungen für den Verlauf der Kondensatorspannung sind recht kompliziert zu handhaben. Für die Praxis reicht es aus, sich die Werte der Tabellen 3.02 und 3.03, die auch in der Abb. 3.12 eingezeichnet sind, einzuprägen.

| R | C | $\tau = R \cdot C$ | Bemerkungen |
|---|---|---|---|
| 10 kΩ | 470µF | 4,7 s | langsame Spannungsänderung |
| 2,2 kΩ | 470µF | 1 s | trotz unterschiedlicher Bau- |
| 10 kΩ | 100µF | 1 s | elemente gleiches Zeitverhalten |
| 2,2 kΩ | 100µF | 0,22 s | sehr schnelle Spannungsänderung |

Tabelle 3.01 verschiedene RC-Kombinationen

| Zeitdauer | Spannnung | Bemerkungen |
|---|---|---|
| $\tau$ | 63 % des Endwertes erreicht | Endwert ist $U_B$ |
| $3\tau$ | 95 % des Endwertes erreicht | die Ladung des Kondensators kann als beendet betrachtet werden |

Tabelle 3.02 Aufladen des Kondensators

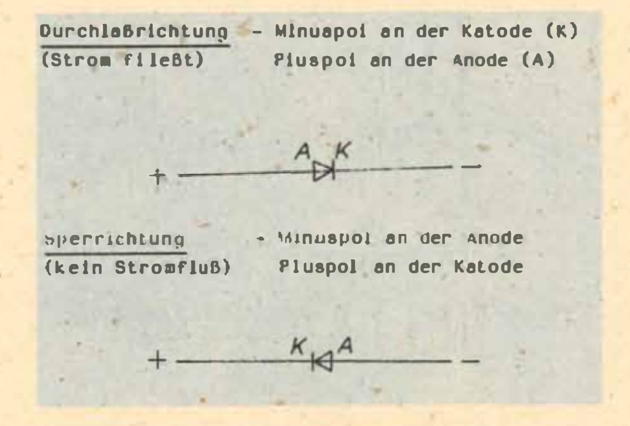
| Zeitdauer | Spannung | Bemerkungen |
|---|---|---|
| $\tau$ | 37 % des Anfangswertes noch vorhanden | Anfangswert ist $U_B$ |
| $3\tau$ | 5 % des Anfangswertes noch vorhanden | der Kondensator kann als entladen betrachtet werden |

Tabelle 3.03 Entladen des Kondensators

Mit diesen Ausführungen wollen wir die Messungen an einfachen Bauelementen abschließen und uns den Halbleiterbauelementen zuwenden.

## 3.7. Die Bestimmung von Diodeneigenschaften mittels Meßgerät

In diesem Versuch wollen wir die Kenntnisse aus dem Anleitungsheft 1 über die Diode wiederholen und durch Messungen vertiefen. Die Auffrischung der Kenntnisse über die Diode erleichtert uns das Verständnis der folgenden Kapitel.
Wir erinnern uns:
Die Diode ist ein Halbleiterbauelement, welches ein von der Stromrichtung abhängiges Verhalten aufweist:




In Durchlaßrichtung muß der Strom durch einen Widerstand auf einen zulässigen Wert begrenzt werden, da die Diode in diesem Fall sehr niederohmig ist. In Sperrichtung fließt genaugenommen ebenfalls ein Strom, der aber sehr klein ist und deshalb vernachlässigt werden kann.
Zur Herstellung von Gleichrichterdioden werden als Halbleitermaterialien Silizium oder Germanium verwendet. Siliziumdioden weisen einen kaum meßbaren Sperrstrom auf, während bei Germaniumdioden ein exemplarabhängiger Sperrstrom gemessen werden kann.

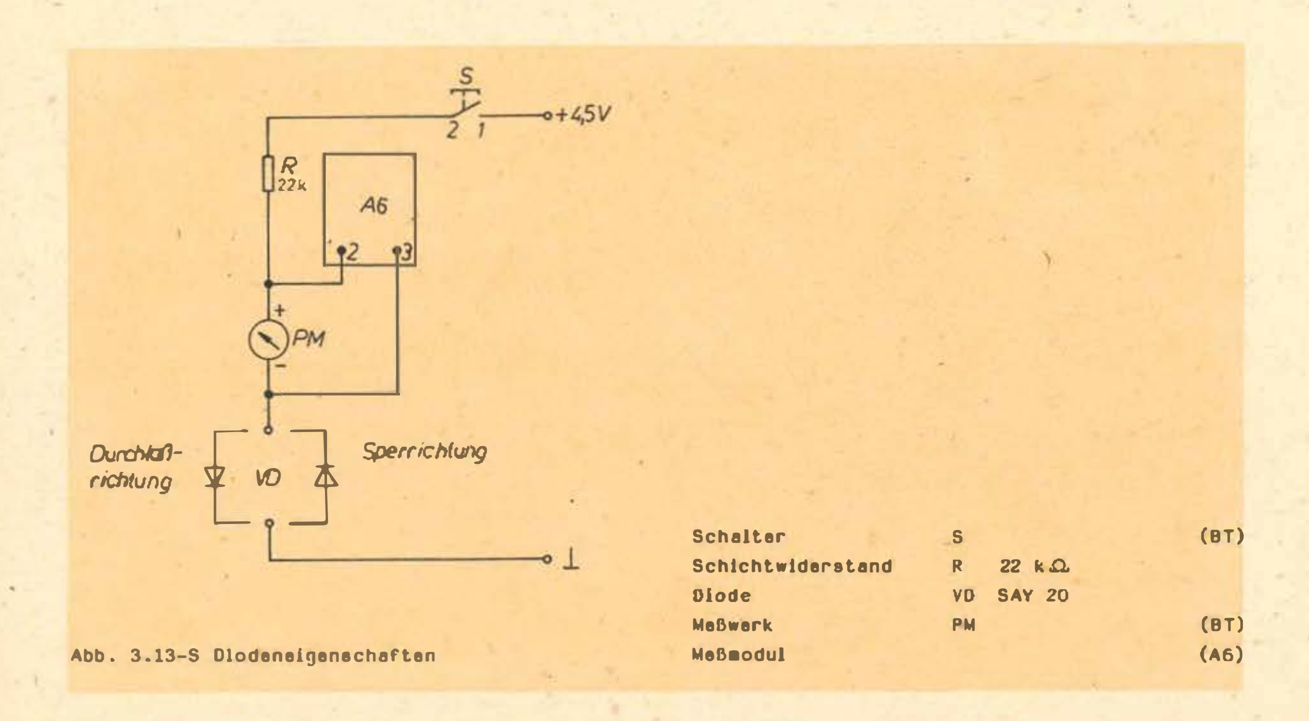
Wir bauen die Schaltung gemäß Abb. 3.13-S auf und überprüfen die Dioden SAY 20.

Als erstes wird die Diode in Durchlaßrichtung geschaltet. Der Widerstand R begrenzt den Durchlaßstrom auf einen Wert von rund 180 µA. Zum Messen verwenden wir den geeichten Strommesser aus Kapitel 2.4.2.2.
Um auch die Sperrichtung zu überprüfen wird die SAY 20 umgepolt. Am Meßgerät stellen wir keinen Zeigerausschlag fest.
Wir fassen zusammen:

| Sperrichtung | Durchlaßrichtung | |
|---|---|---|
| 0 | 1 | Diode in Ordnung |
| 0 | 0 | Diode defekt (Unterbrechung in beiden Richtungen) |
| 1 | 1 | Diode defekt (Kurzschluß in beiden Richtungen) |

0 = kein Strom (außer Sperrstrom)
1 = Strom fließt

Unter Beachtung der oben beschriebenen Eigenschaften von Dioden können mit dieser Schaltung unbekannte Typen getestet oder die Anschlußbelegung ermittelt werden.




| | | | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S | | (BT) |
| Schichtwiderstand | R | 22 kΩ | |
| Diode | VD | SAY 20 | |
| Meßwerk | PM | | (BT) |
| Meßmodul | | | (A6) |

Abb. 3.13-S Diodeneigenschaften

Abb. 3.13-A

## 3.8. Die Kennlinienaufnahme einer Diode

Aus einer Kennlinie läßt sich das charakteristische Verhalten eines Bauelementes im elektrischen Stromkreis erkennen. In Abb. 3.14 sind die Kennlinien der Schaltdiode SAY 20, der Lichtemitterdioden VQA 13-1 und VQA 23 sowie zweier Widerstände dargestellt.
Uns fällt sofort auf, daß sich die Kennlinien voneinander unterscheiden. Wir haben in der Abb. 3.14 zwei wichtige Arten von Kennlinien dargestellt, lineare und nichtlineare Kennlinien.

**Merke:**
Es gibt elektronische Bauelemente mit
- linearer Kennlinie (z. B. Widerstand)
- nichtlinearer Kennlinie (z. B. Diode, LED, Transistor)

Das lineare Verhalten des Widerstandes ist aus dem Ohmschen Gesetz leicht zu erkennen. Strom und Spannung verhalten sich proportional. Als Kennlinie ergibt sich eine Gerade, die je nach Größe des Ohmschen Widerstandes einen flachen oder steilen Anstieg hat.
Die Diode ist ein Bauelement mit nichtlinearem Verhalten, d.h. Strom und Spannung verhalten sich nicht proportional zueinander. Die Abb. 3.14 zeigt die Kennlinien der Dioden in Durchlaßrichtung. Daraus sehen wir, daß ein Stromfluß erst ab einer bestimmten Spannung zustande kommt und daß im Gebiet des steilen Kennlinienanstieges sich die Durchlaßspannung $U_F$ bei größerer Änderung des Durchlaßstromes $I_F$ nur gering ändert.

Eine charakteristische Spannung, die Schleusenspannung $U_S$ erhalten wir dort, wo die Tangente der Diodenkennlinie die Spannungsachse schneidet.

**Merke:**
Die Durchlaßspannung $U_F$ ist ab einem bestimmten Durchlaßstrom $I_F$ relativ konstant. Sie beträgt bei unseren Dioden:

| | |
|---|---|
| SAY 20 | $U_F \approx 0,7$ V |
| VQA 13-1 | $U_F \approx 1,8$ V |
| VQA 23 | $U_F \approx 2,4$ V |

(Werte für $U_F$ bei $I_F$ = 10 mA)

Wir wollen uns jetzt aber unserem Versuch zuwenden.
Mit den uns zur Verfügung stehenden Meßmitteln wollen wir die Kennlinie einer Siliziumdiode SAY 20 und die Kennlinie eines Widerstandes aufnehmen.
Wir bauen als erstes die Schaltung nach Abb. 3.15-S auf. Es handelt sich um ein kombiniertes elektronisches Strom-Spannungsmeßgerät, welches durch Umschalten von S2 wahlweise als Millivoltmeter (Meßbereich 0V... 1000 mV) oder als Amperemeter (Meßbereich 0 - 10 mA) verwendet werden kann.
Die Schaltung des Millivoltmeters entspricht der aus Abschnitt 2.5.2. Wir müssen also genau dieselben Schritte zur Eichung des Meßgerätes durchführen. Wir blättern dazu zum Abschnitt 2.5.2. zurück (zur Eichung G und E mit einem Draht verbinden).

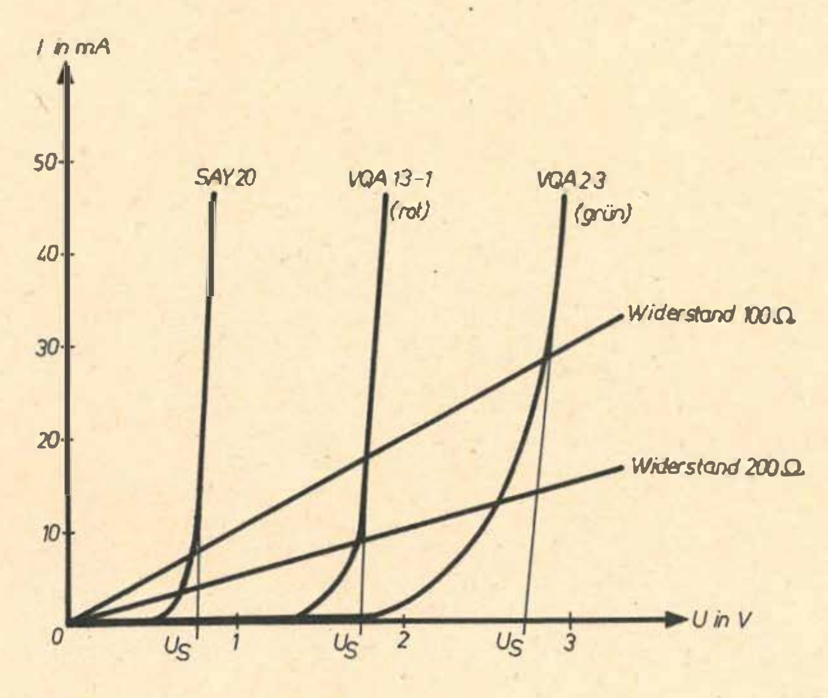



Abb. 3.14 Kennlinien von Dioden (in Durchlaßrichtung) und Widerständen

Das Amperemeter wird durch die Parallelschaltung von Meßmodul A6 und dem Nebenwiderstand (Shunt) R8 auf einen Meßbereich von 0 ... 10 mA erweitert.

Mit diesem Meßgerät lassen sich jetzt in der unteren Schaltstellung des Schalters S2 Spannungen von 0-1 V, in der oberen Schaltstellung Ströme von 0-10 mA messen. Abgelesen werden die Werte für die Spannung auf der Skale des Millivoltmeters, die Werte für den Strom auf der Skale des Voltmeters in mA.

Kennlinienaufnahme:

Wir beginnen mit der Kennlinienaufnahme für den Widerstand R5. Dazu sind die Punkte A und E sowie B und F der Schaltung zu verbinden. Schalter S2 befindet sich in der oberen Schaltstellung (Strommessung). Mit dem Potentiometer R4 stellen wir einen Strom von 1 mA ein. Danach schalten wir das Meßgerät um (untere Schaltstellung) und lesen die Spannung ab.

Den Meßwert tragen wir in die Tabelle 3.04 ein. Anschließend wird S2 umgeschaltet und mit R4 der nächste Stromwert eingestellt. Danach wird S2 wieder umgeschaltet, der Spannungswert abgelesen und in die Tabelle eingetragen. Alle weiteren Meßpunkte werden ebenso ermittelt. Wir erhalten so Meßwertpaare, die wir in das Kennlinienfeld (Abb. 3.17) eintragen. Wie so etwas aussieht sehen wir in Abb. 3.16.

Dazu das Beispiel eines Meßwertepaares:

I = 2 mA

U = 0,65 V

Sind alle Punkte eingezeichnet, muß es möglich sein, sie durch eine Gerade zu verbinden. Eventuell gibt es Abweichungen von der Geraden, die aus Meßfehlern resultieren.

Diese Gerade wird so eingezeichnet, daß sie die meisten Meßpunkte schneidet.

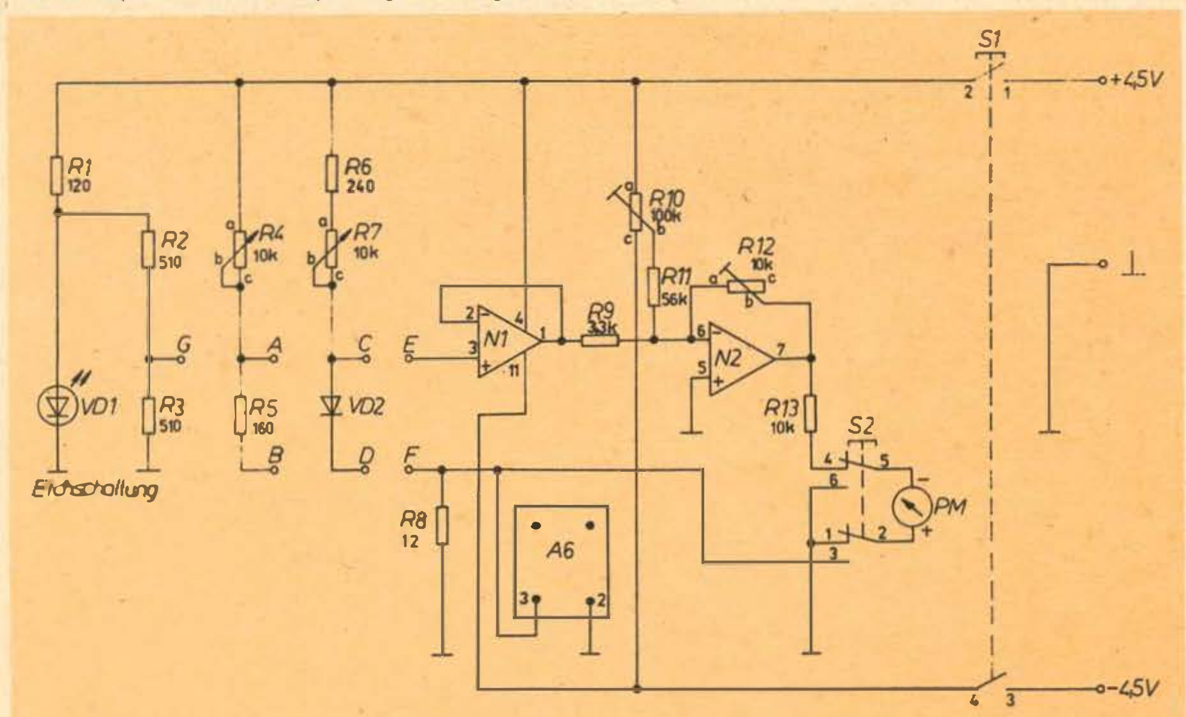



Abb. 3.15-S Meßschaltung zur Kennlinienaufnahme

| | | | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S1 | | (BT) |
| Schalter | S2 | | |
| Schichtwiderstand | R1 | 120 Ω | |
| Schichtwiderstand | R2 | 510 Ω | |
| Schichtwiderstand | R3 | 510 Ω | |
| Schichtwiderstand | R5 | 160 Ω | |
| Schichtwiderstand | R6 | 240 Ω | |
| Schichtwiderstand | R8 | 12 Ω | |
| Schichtwiderstand | R9 | 3.3 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R11 | 56 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R13 | 10 kΩ | |
| Schichtdrehwiderstand | R10 | 100 kΩ | (A4) |
| Schichtdrehwiderstand | R12 | 10 kΩ | (A4) |
| Potentiometer | R4, R7 | 10 kΩ | (BT) |
| Diode | VD2 | SAY 20 | |
| Lichtemitterdiode | VD1 | VQA 13-1 | |
| Operationsverstärker | N1, N2 | B 084 D | (AS) |
| Meßwerk | PM | | (BT) |
| Meßmodul | | | (A6) |

Abb. 3.15-A

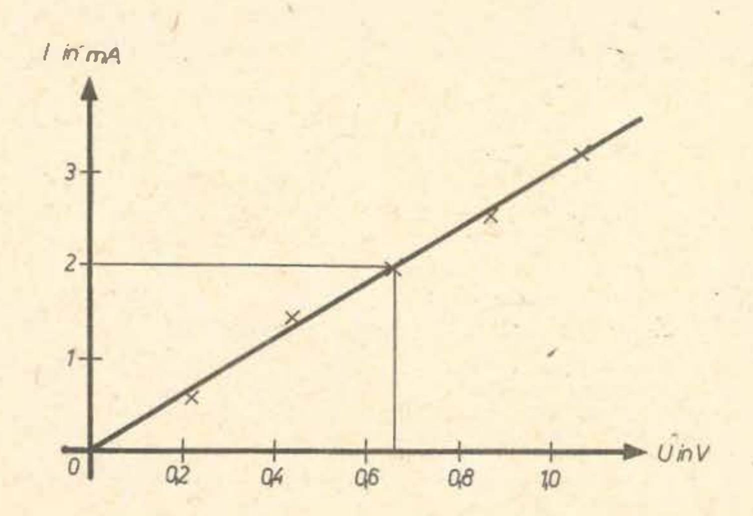



Abb. 3.16 Beispiel zum Eintragen eines Meßwertepaares und Einzeichnen der Kennlinie

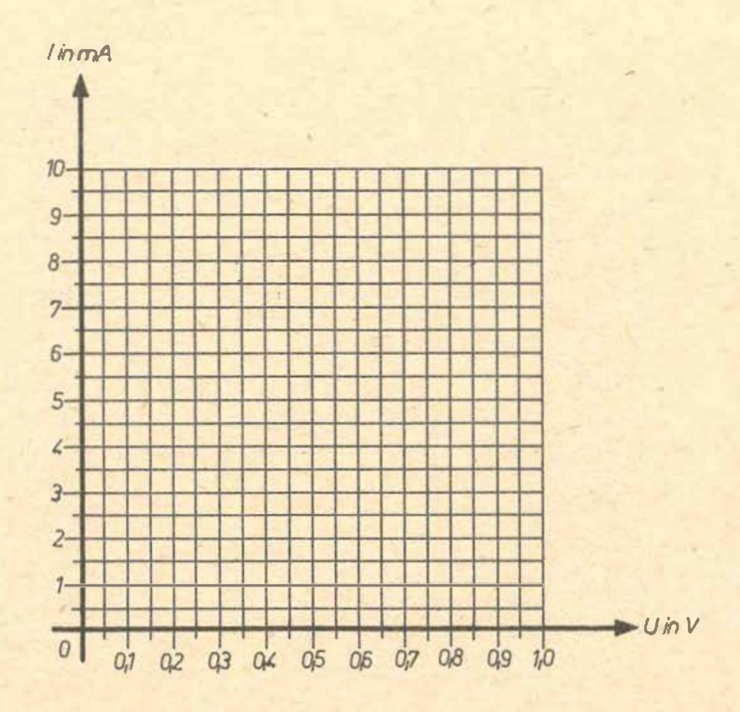



Abb. 3.17 Kennlinienfeld für die Meßwertepaare aus den Tabellen

| Strom in mA | 1 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Spannung in V | | | | | | |

Tabelle 3.04 Wertepaare für die Widerstandskennlinie

Nachdem wir die Kennlinie für den Widerstand gemessen und eingetragen haben, ändern wir unsere Schaltung. Wir wollen nun die Kennlinie für die Diode VD aufnehmen. Dazu ist die Teilschaltung mit R6, R7 und VD2 zu stecken und die Punkte C und E, sowie D und F zu verbinden.

Die Aufnahme der Meßwerte entsprechend Tabelle 3.05 erfolgt in gleicher Weise wie für die Widerstandskennlinie.

| Strom in mA | 0,25 | 0,5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Spannung in V | | | | | | | | | |

Tabelle 3.05 Wertepaare für die Diodenkennlinie

Die Meßwertepaare tragen wir wieder in das Kennlinienfeld ein und verbinden die Punkte miteinander. Die entstehende Kurve (Kennlinie) muß so eingezeichnet werden, daß möglichst alle Meßpunkte auf ihr liegen (keine Zick-Zack-Kurve zeichnen!). Zum Schluß zeichnen wir noch die Tangente an die Kurve. Der Schnittpunkt der Tangente mit der waagerechten Achse gibt uns die Schleusenspannung der Diode an. Wir vergleichen die aufgenommene Kennlinie mit der in Abb. 3.14

Wir haben nun die Kennlinie einer Diode in Durchlaßrichtung gemessen. Für die Messung der Kennlinie in Sperrichtung reichen unsere Meßmöglichkeiten nicht aus, da hier nur ein sehr geringer Sperrstrom fließt, der mit unserem Meßinstrument nicht zu erfassen ist.

Merke:

Für den praktischen Umgang mit Dioden sind vier Kennwerte wichtig:

1. Die maximale Sperrspannung $U_{Rmax}$ (aus unserer Kennlinie nicht ersichtlich) gibt an, bis zu welcher Spannung eine Diode in Sperrichtung ohne Zerstörung betrieben werden kann.
2. Die Durchlaßspannung $U_F$ ist der Wert, der sich bei Fließen eines Diodenstromes an der Diode einstellt. Die Durchlaßspannung sinkt mit steigender Temperatur (Leitfähigkeit steigt).
3. Der maximale Durchlaßstrom $I_F$. Seine Überschreitung zerstört die Diode thermisch durch zu hohe Hitze.
4. Der Sperrstrom $I_R$ ist ein Strom der in der Praxis auftritt, auch wenn die Diode sperrt. Er ist jedoch bei Siliziumdioden winzig klein gegenüber dem Durchlaßstrom.

Die in unserem Baukasten verwendeten Dioden haben folgende Werte:

| Typ | SAY 20 | VQA 13-1 | VQA 23 |
|---|---|---|---|
| $U_{Rmax}$ | 15 V | 5 V | 5 V |
| $U_F$ | ≦ 1 V (bei $I_F$ = 10 mA) | ≦ 1,8 V (bei $I_F$ = 20 mA) | ≦ 3,0 V (bei $I_F$ = 20 m A) |
| $I_R$ | ≦ 50 nA (bei $U_R$ = 15 V) | ≦ 100 µA (bei $U_R$ = 5 V) | ≦ 100 µA (bei $U_R$ = 5 V) |

Wir wollen uns im nächsten Versuch mit der spannungsstabilisierenden Wirkung von LED's beschäftigen. Dazu werden wir die Kennlinien aus Abb. 3.14 noch einmal benötigen.

## 3.9. Die Lichtemitterdiode als Spannungsstabilisator

Wie wir wissen,ist auch die Lichtemitterdiode eine Halbleiterdiode. Sie sendet beim Betreiben in Durchlaßrichtung Licht aus.
Im Baukasten befinden sich rot- und grünleuchtende Typen, zwei als einsteckbare Bauelemente - zwei weitere sind im Bedienteil montiert.
Zur Eichung des Meßgerätes nutzten wir bereits eine andere Eigenschaft der LED: Ihre Durchlaßspannung $U_F$ weist bei einem sich ändernden Durchlaßstrom $I_F$ einen relativ konstanten Wert auf. Das soll nun näher untersucht werden.
Wir bauen dazu die Schaltung gemäß Abb. 3.18-S auf!
Mit dem Schalter S2 erfolgt das Umschalten der Betriebsspannung zwischen 9 V und 4,5 V.
Durch das Potentiometer R3 ist der Durchlaßstrom der LED einstellbar. Er wird durch R2 auf einen Maximalwert begrenzt. Wir stecken zunächst an den Klemmen A und B den Widerstand R1 ein. Das Meßgerät zeigt nach Einschalten von S1 den Spannungsabfall über R1 an. Dieser ist natürlich abhängig von der Betriebsspannung (9 V oder 4,5 V - mit S2 wählbar) und der Einstellung des Potentiometers R3. Die Widerstände R1, R2, R3 arbeiten als Spannungsteiler.
Ersetzen wir den Widerstand R1 durch die LED VD3, sieht die Anzeige des Meßgerätes ganz anders aus.
Bei einer Betriebsspannung von 9 V (S2 in der unteren Schaltstellung, Kontakte 1 und 2 gebrückt) ändert sich die Flußspannung der LED bei Verstellung des Potentiometers nur sehr wenig. Sie ist also weitestgehend unabhängig von dem durch das Potentiometer eingestellten Strom.
Das gleiche Bild ergibt sich, wenn zwischen A und B die beiden LED's VD1 und VD2 in Reihe geschaltet werden. Da wir hier zwei Dioden verwenden, messen wir die Summe der beiden Durchlaßspannungen.
Bringt man S2 in die obere Schaltstellung (Kontakte 2 und 3 gebrückt), beträgt die Betriebsspannung nur noch 4,5 V.
Jetzt ist die Stabilisierungswirkung der LED's nur noch in der Nähe des Linksanschlages von R3 zu beobachten. Bei Rechtsanschlag ist der noch durch die Widerstände und LED's fließende Strom zu gering, um eine Stabilisierungswirkung hervorzurufen.

**Merke:**
- Die Durchlaßspannung einer LED ist oberhalb ihrer Schleusenspannung relativ unabhängig vom Durchlaßstrom.
- Soll die Durchlaßspannung einer LED stabil sein,darf ein gewisser Durchlaßstrom nicht unterschritten werden.
- Höhere stabile Spannungen lassen sich durch Reihenschaltung von mehreren LED's erzeugen.

Jetzt wissen wir genau, warum die LED's und auch die Diode zur Bereitstellung einer konstanten Vergleichsspannung zum Eichen der Meßgeräte verwendet werden konnten.
Besonders eignet sich die rote LED (VQA 13-1) auf Grund ihrer steilen Kennlinie (siehe Abb. 3.14) zur Bereitstellung einer konstanten Vergleichsspannung in elektronischen Schaltungen. Benötigen wir spezielle Spannungen oder eine höhere Genauigkeit, setzen wir ein spezielles Bauelement die Zener-Diode oder kurz Z-Diode ein. Bei diesem Bauelement ist die spannungsstabilisierende Wirkung noch ausgeprägter.

Wir haben jetzt einen praktischen Versuch zur Spannungsstabilisierung durchgeführt und wollen uns im folgenden mit dem mathematischen Rüstzeug zur Berechnung solcher Schaltungen versehen. Abb. 3.19 zeigt einen einfachen Stromkreis mit Batterie, LED's, Vorwiderstand $R_V$ und Lastwiderstand $R_L$.
Ebenfalls sind die interessierenden Spannungen und Ströme eingezeichnet.

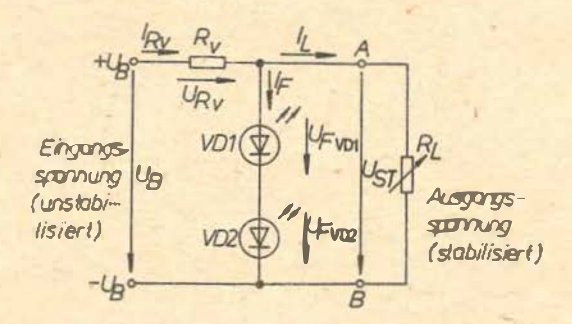
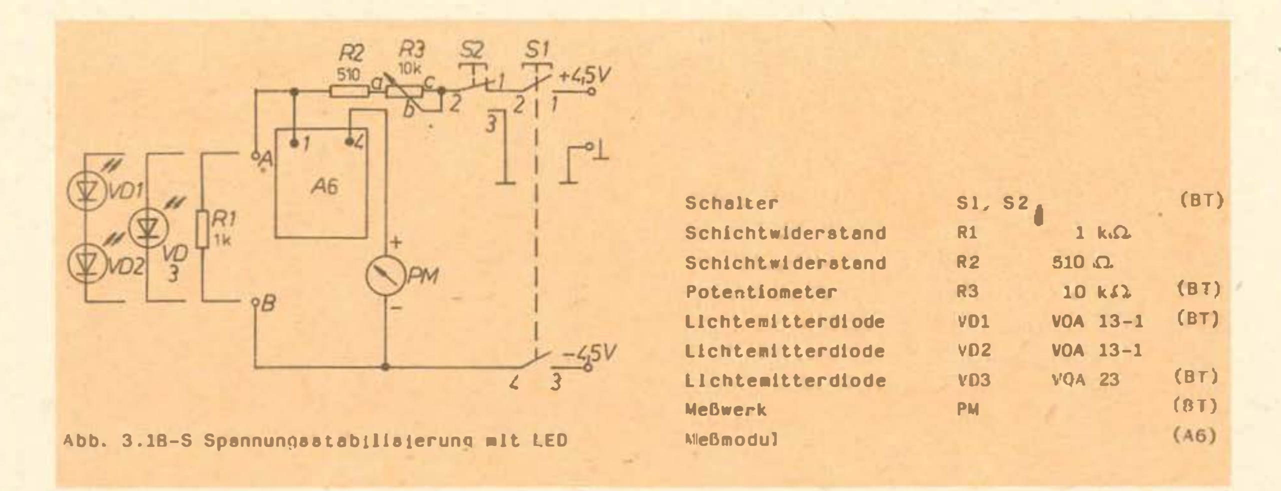



Abb. 3.19 Stromkreis bei Spannungsstabilisierung mit LED's

In der Schaltung können sich die Batteriespannung und/oder die Belastung (Stromfluß durch $R_L$) durch äußere Einflüsse ändern. Wir wollen




| | | | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S1, S2 | | (BT) |
| Schichtwiderstand | R1 | 1 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R2 | 510 Ω | |
| Potentiometer | R3 | 10 kΩ | (BT) |
| Lichtemitterdiode | VD1 | VQA 13-1 | (BT) |
| Lichtemitterdiode | VD2 | VQA 13-1 | |
| Lichtemitterdiode | VD3 | VQA 23 | (BT) |
| Meßwerk | PM | | (BT) |
| Meßmodul | | | (A6) |

Abb. 3.18-S Spannungsstabilisierung mit LED

PM VD1 VD3 R3 S2 S1 −4,5V +4,5V

Abb. 3.18-A

aber immer eine konstante Spannung $U_{St}$ an den Klemmen A und B erzeugen. Dazu ist es notwendig, den richtigen Wert für den Vorwiderstand $R_V$ zu berechnen.

Der Strom durch $R_V$ ist die Summe der Ströme durch $R_L$ und durch $VD_1$ und $VD_2$.

$$I_{R_V} = I_F + I_L$$

Schwankt der Laststrom $I_{R_L}$, ändert sich der Strom durch die LED's so, daß die stabilisierte Spannung sich fast nicht ändert. Das bedeutet z.B. praktisch, daß sich der Durchlaßstrom um den gleichen Betrag erhöht, um den sich der Laststrom verringert.

Die Schaltung wir so dimensioniert, daß

1. bei minimaler Eingangsspannung $U_{B\,min}$ und maximalem Laststrom $I_{L\,max}$ und
2. bei maximaler Eingangsspannung $U_{B\,max}$ und minimalem Laststrom $I_{L\,min}$

die Spannung über den LED's stabil bleibt.

Der Durchlaßstrom durch die Dioden sollte sich dabei im Bereich von 10 mA bis 50 mA bewegen (bei VQA 13-1).

Wir berechnen für den 2. Fall den Vorwiderstand:

Gegeben: $U_{B\,max}$ = 10 V
$I_{L\,min}$ = 0 mA (Leerlauf)
$I_{F\,max}$ = 50 mA
$U_{St}$ = 3,6 V (2 x VQA 13-1 mit $U_F$ = 1,8 V)

$$R_V = \frac{U_{RV}}{I_{RV}} \qquad U_{RV} = U_{B\,max} - U_{St.}$$

$$I_{RV} = I_{F\,max}$$

$$R_V = \frac{10\ V - 3{,}6\ V}{50\ mA}$$

$$R_V = \frac{6{,}4\ V}{0{,}05\ A}$$

$$R_V = 128\,\Omega$$

Nun überprüfen wir für den 1. Fall wie groß der Laststrom werden kann, damit der Durchlaßstrom $I_{Fmin}$ für die Stabilisierung noch ausreicht.

Gegeben: $U_{Bmin}$ = 7 V
$R_L$ = 128 Ω
$I_{Fmin}$ = 10 mA

$$I_{RV} = \frac{U_{RV}}{R_V} \qquad U_{RV} = U_{Bmin} - U_{St.}$$

$$I_{RV} = \frac{7\ V - 3{,}6\ V}{128\,\Omega}$$

$$I_{RV} = \frac{3{,}4\ V}{128\,\Omega}$$

$$I_{RV} = 0{,}0266\ A$$

$$I_{RV} = 26{,}6\ mA$$

Der Laststrom darf bei 3,6 V maximal 16,6 mA betragen, also beträgt der kleinste Lastwiderstand 135,3Ω (bei $I_{Fmin}$ = 10 mA).

Ist der benötigte Laststrom geringer, kann der Vorwiderstand entsprechend vergrößert werden.

## 3.10. Bestimmung der Stromverstärkung von Transistoren mit Meßgerät

Mit der Schaltung nach Abb. 3.20-S können wir die Gleichstromverstärkung von npn- und pnp-Kleinleistungstransistoren (z. B. SC 236, SC 307) messen.

Wir erinnern uns an die Formel für die Gleichstromverstärkung B (oder auch Großsignalverstärkung) und daran, daß die Transistoren in Stromverstärkungsgruppen A bis F eingeteilt werden. Im Anleitungsheft 1 Abschnitt 2.4 (Der Transistor) können wir, wenn nötig, noch einmal darüber nachlesen.

Doch nun zur Schaltung selbst. Es handelt sich hier um eine einfache Schaltung, mit der die Stromverstärkung eines Transistors gemessen werden kann.

Wir bauen die Schaltung nach Abb. 3.20-S auf!

Wird die Brücke A-B gesteckt und ist S2 in der unteren Schaltstellung, können wir npn-Transistoren ausmessen. Wird Brücke C-B gesteckt und ist S2 in der oberen Schaltstellung können wir pnp-Transistoren (z. B. SC 307) ausmessen. S1 ist der Schalter zum Zuschalten positiver oder negativer Betriebsspannung. Wir benutzen unser Voltmeter mit dem Meßbereich 0 - 10 V und der dazugehörigen Skale.

Als erstes wollen wir die Stromverstärkung von VT 1 (npn-Transistor SC 236) messen.

Über die Widerstände R1 und R2 fließt ein Strom von 10 µA in die Basis des Transistors hinein. Dieser Basisstrom wird im Transistor verstärkt und hat einen Kollektorstrom zur Folge, der vom Stromverstärkungsfaktor des Transistors abhängig ist. Der Kollektorstrom fließt durch den Widerstand R3 und erzeugt über diesem einen Spannungsabfall $U_{R3}$. Diesen Spannungsabfall messen wir mit unserem als Voltmeter geschalteten Meßinstrument. Da wir die Größe des Widerstandes R3 kennen, ist es uns mit Hilfe des Ohmschen Gesetzes möglich, den durch R3 fließenden Strom und damit auch den Kollektorstrom $I_C$ zu berechnen.

$$R3 = \frac{U_{R3}}{I_{R3}}$$

Mit $I_{R3} = I_C$ ergibt sich:

$$I_C = \frac{U_{R3}}{R3}$$

Die Stromverstärkung errechnet sich zu:

$$B = \frac{I_C}{I_B}$$

Und mit $I_C = \frac{U_{R3}}{R3}$ ist:

$$B = \frac{U_{R3}}{R3 \cdot I_B}$$

Da R3 = 1 kΩ = 1 . $10^3$ Ω = 1 . $10^3$ $\frac{V}{A}$ und $I_B$ = 10 µA = 10 · $10^{-6}$ A ergibt sich

$$B = \frac{U_{R3}}{1 \cdot 10^3\ \frac{V}{A} \cdot 10 \cdot 10^{-6}\ A}$$

$$B = \frac{U_{R3}}{0{,}01\ V}$$

$$B = 100 \cdot \frac{U_{R3}}{V}$$

$U_{R3}$ ist die auf der Skale ablesbare Spannung in Volt. Die Stromverstärkung B ergibt sich daher als dimensionslose Größe.

Beispiel:
Messen wir über R3 eine Spannung von 2,9 V, dann hat der Transistor eine Stromverstärkung von 290 und gehört also in die Stromverstärkungsgruppe E.

Einen pnp-Transistor (z. B. SC 307) können wir nach Umschalten von S2 und Stecken der Brücke B-C in gleicher Weise ausmessen.

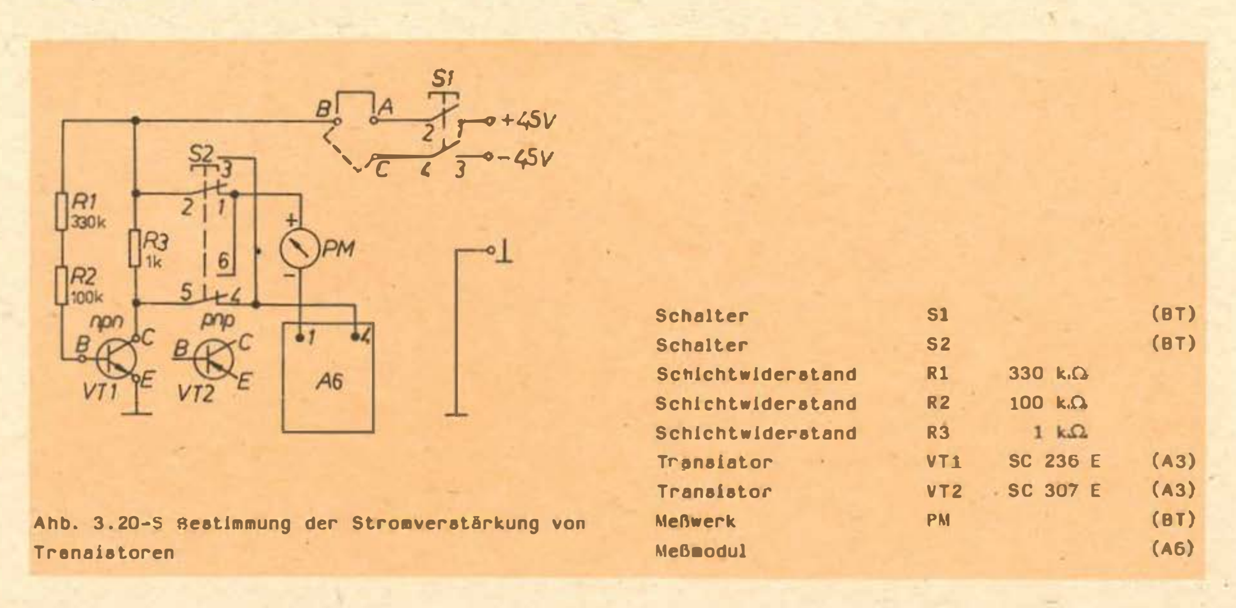



Abb. 3.20-S Bestimmung der Stromverstärkung von Transistoren

| | | | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S1 | | (BT) |
| Schalter | S2 | | (BT) |
| Schichtwiderstand | R1 | 330 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R2 | 100 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R3 | 1 kΩ | |
| Transistor | VT1 | SC 236 E | (A3) |
| Transistor | VT2 | SC 307 E | (A3) |
| Meßwerk | PM | | (BT) |
| Meßmodul | | | (A6) |

Abb. 3.20 A

# 4. Elektronische Schaltungen mit Meßgerät

Im Folgenden werden Beispiele für Messungen in Schaltungen mit aktiven Bauelementen gegeben. Beim Aufbau der Schaltungen sind unbedingt die schon im Anleitungsheft 1 Abschnitt 1.2. gegebenen Hinweise zur Behandlung dieser Bauelemente zu beachten!

## 4.1. Spannungsverhältnisse am Komparator

Ein Komparator ist eine Schaltung, in welcher zwei Spannungen miteinander verglichen werden und das Ergebnis des Vergleiches angezeigt wird. Ausführlich wurde der Komparator im Abschnitt 5.3.1. des Anleitungsheftes 1 beschrieben.

In Abb. 4.01-S ist der Komparator mit einem Operationsverstärker (N) aufgebaut.

Der Operationsverstärker (OV) wird mit seiner Leerlaufverstärkung betrieben.

Das heißt:

Die Differenzspannung zwischen dem invertierenden Eingang und dem nichtinvertierenden Eingang erscheint am Ausgang mindestens um den Faktor 15 000 vergrößert, sofern sich der Ausgang nicht in der Sättigung befindet.

Sättigung bedeutet, daß der Ausgang eine Spannung führt, die sich nur um wenige Zehntel Volt von der Betriebsspannung unterscheidet (bei $U_B = \pm 4{,}5$ V beträgt $U_{a\ sat} \pm 4{,}2$ V).

Die nachfolgende Versuchsbeschreibung bezieht sich generell auf $U_B = \pm 4{,}5$ V.

Wie funktioniert die Schaltung?

Der invertierende Eingang ist mit dem Schleifer des Potentiometers verbunden. Damit ist die Spannung an diesem Eingang zwischen + 4,5 V und - 4,5 V regelbar. Sie wird mit 0 V verglichen, da der nichtinvertierende Eingang auf Masse liegt. Ist die Spannung am invertierenden Eingang positiver als Masse, befindet sich der Ausgang des OV in der negativen Sättigung. Die rote LED leuchtet. Verringern wir die Spannung bis unter das Massepotential schaltet der Ausgang in die positive Sättigung um. Die grüne LED leuchtet.

Zum Umschalten reichen, wegen der hohen Verstärkung des OV's, wenige Millivolt über oder unter Massepotential am Eingang aus. Rechnerisch ergibt sich:

$$\frac{4{,}2\ \text{V}}{15000} = 0{,}00028\ \text{V} = 0{,}28\ \text{mV}$$

**Wir bauen die Schaltung nach Abb. 4.01-S auf und überprüfen deren Funktion durch Verändern des Potentiometers!**

Dabei ist das Meßgerät noch nicht mit dem invertierenden Eingang verbunden.

Nun wollen wir unsere theoretischen Kenntnisse durch eine praktische Messung bestätigen.

Dazu befindet sich der Schalter S2 zunächst in Stellung 1 (untere Schaltstellung auf dem Bedienteil).

Wir messen die positive Betriebsspannung am Anschluß 4 und das Massepotential am Anschluß 3 des OV's. Das Meßgerät muß +9 V bzw. +4,5 V anzeigen. Geringe Abweichungen durch unterschiedlich verbrauchte Monozellen können auftreten.

Nun wird das Meßgerät mit dem invertierenden Eingang verbunden und wir ermitteln den Umschaltpunkt des Komparators.

**Merke:**

Der Umschaltpunkt eines Komparators ist der Punkt, an dem die zu vergleichenden Spannungen gleich groß sind. Der Komparator wechselt dann am Ausgang sein Potential.

In unserer Schaltung ist das die Stellung des Potentiometers, bei der von einer LED auf die andere umgeschaltet wird. Am invertierenden und am nichtinvertierenden Eingang des OV liegen 0 V an. In Stellung 1 des Schalters S2 müssen am Meßgerät 4,5 V abzulesen sein, da wir gegen -4,5 V messen.

Bringt man S2 in Stellung 3, erfolgt die Spannungsmessung gegen Masse. Aus diesem Grund wird der Umschaltpunkt mit Null Volt angezeigt.

**Achtung:** Meßgerät nicht durch negative Spannung (Linksanschlag) überlasten.

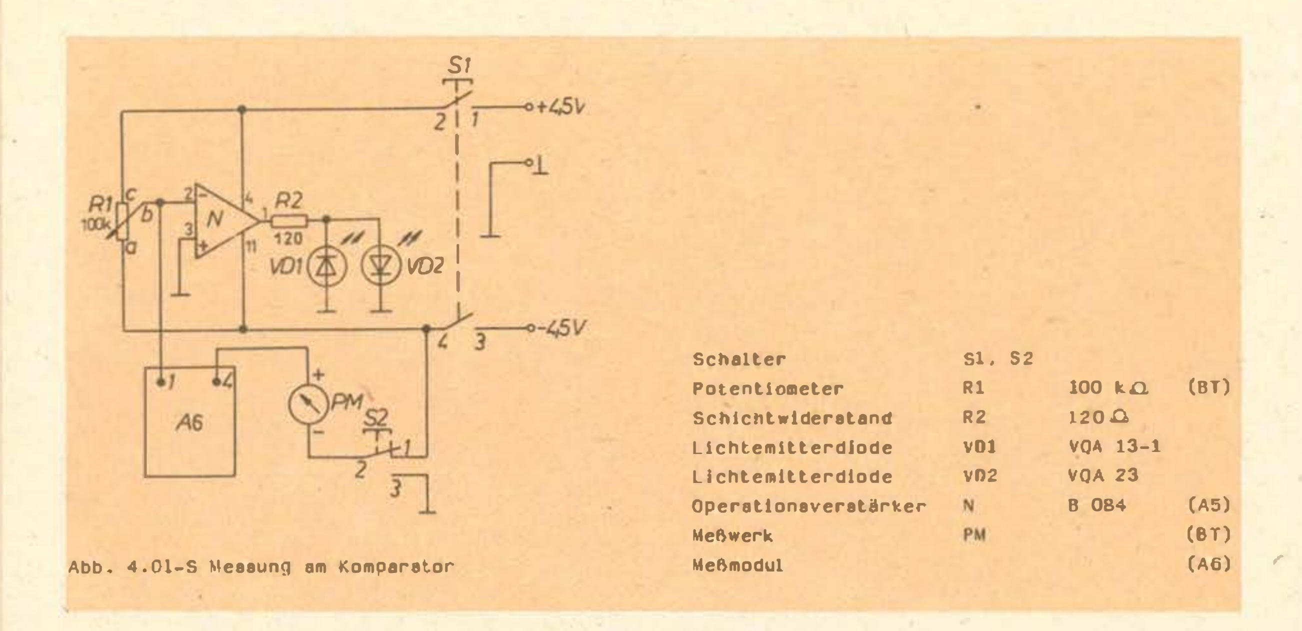



Abb. 4.01-S Messung am Komparator

| | | | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S1, S2 | | |
| Potentiometer | R1 | 100 kΩ | (BT) |
| Schichtwiderstand | R2 | 120 Ω | |
| Lichtemitterdiode | VD1 | VQA 13-1 | |
| Lichtemitterdiode | VD2 | VQA 23 | |
| Operationsverstärker | N | B 084 | (A5) |
| Meßwerk | PM | | (BT) |
| Meßmodul | | | (A6) |

Abb. 4.01-A

## 4.2. Spannung-elektronisch geteilt

Zur Stromversorgung mancher Schaltungen benötigt man zwei exakt gleichgroße Spannungen unterschiedlicher Polarität gegen Masse. Eine Möglichkeit zu deren Erzeugung ist ein Spannungsteiler aus Schichtwiderständen. Dieser Spannungsteiler ist jedoch lastabhängig und nur bei konstanter Last anzuwenden.
Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung von zwei Stabilisierungsschaltungen, also für jede Spannung eine Stabilisierungsschaltung. Hierbei sind jedoch gewisse Unterschiede, die aus den Toleranzen der Bauelemente resultieren, nicht ausgeschlossen. Diese Schaltungen verlangen eine äußerst genaue Einstellung und sind sehr aufwendig. So ist es besser, die Summe beider Spannungen zu stabilisieren und das Massepotential elektronisch, also eine "Künstliche Masse" zu erzeugen.

1. Variante: Symmetrischer elektronischer Spannungsteiler ohne Verstärkerstufe

Mit der Schaltung nach Abb. 4.02-S lassen sich zwei immer exakt gleichgroße Spannungen erzeugen. Inwieweit diese Ausgangsspannungen von der Belastung unabhängig sind, hängt von der Leistungsfähigkeit der Spannungsversorgung und unseres OV's ab.
Wir bauen die Schaltung nach Abb. 4.02-S auf.

Beachte:
Diesmal benötigen wir den in den bisherigen Schaltungen als Masse bezeichneten Anschluß des Batteriefaches nicht, da wir ja eine "Künstliche Masse" erzeugen wollen.
Die Betriebsspannungszuführung ist diesmal links im Stromlaufplan eingezeichnet. Die zwei Ausgangsspannungen unterschiedlicher Polarität und die "Künstliche Masse" erkennen wir auf der rechten Seite.

Die Widerstände R1 und R2 stellen einen Spannungsteiler dar, der eine Referenzspannung (Vergleichsspannung) an den nichtinvertierenden Eingang (+) des OV's legt ( ≈ 4,5 V).

Nun zur näheren Funktion der Schaltung.
Bei gleichgroßen Widerstände R1 und R2 erhalten wir für die Referenzspannung:

$$\frac{U_{ref}}{U_e} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad \Big| \cdot U_e$$

$$U_{ref} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_e$$

da $R_1 = R_2$ ergibt sich:

$$U_{ref} = \frac{R_2}{R_2 + R_2} \cdot U_e$$

$$= \frac{R_2}{2\,R_2} \cdot U_e$$

Wir kürzen und erhalten:

$$U_{ref} = \frac{1}{2} U_e$$

Die Spannung des Ausgangs wird über R3 an den invertierenden Eingang geführt.
Ist die Ausgangsspannung und damit die Spannung am invertierenden Eingang positiver als das Potential des nichtinvertierenden Eingangs, sinkt die Ausgangsspannung. Ist die Ausgangsspannung negativer als das Potential des nichtinvertierenden Eingangs, steigt die Ausgangsspannung. Der OV erzeugt an seinem Ausgang ständig die gleiche Spannung wie sie am nichtinvertierenden Eingang anliegt.
Somit ist $U_a = U_{ref}$.
In unserem Fall (R1 = R2) erhalten wir am OV-Ausgang genau den Spannungsmittelpunkt von +4,5 V und -4,5 V also 0 Volt.
Die Probleme des belasteten Spannungsteilers und der an ihm auftretenden Spannungsverhältnisse bei wechselnden Belastungen werden mit dieser Schaltung gelöst. Die Mittenspannung an R1, R2 erscheint elektronisch stabilisiert am Ausgang des OV.

Merke:
Beim elektronischen Spannungsteiler wird das Bezugspotential für die positive und negative Ausgangsspannung erzeugt. Dies erfolgt entsprechend dem Verhältnis der Widerstände des Eingangsspannungsteilers.

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{+U_A}{-U_A}$$

Wir wollen jetzt die Ausgangsspannungen des elektronischen Spannungsteilers messen. Dabei beachten wir die Polarität der Spannungen und die des Meßgerätes! Die Spannungen A-O und B-C werden gemessen und müssen gleich groß sein. Ihre Summe entspricht der Spannung zwischen den Punkten A und C. Die Schaltung stabilisiert die zwei Ausgangsspannungen (+ 4,5 V und - 4,5 V) bis zu einem Laststrom von 20mA.

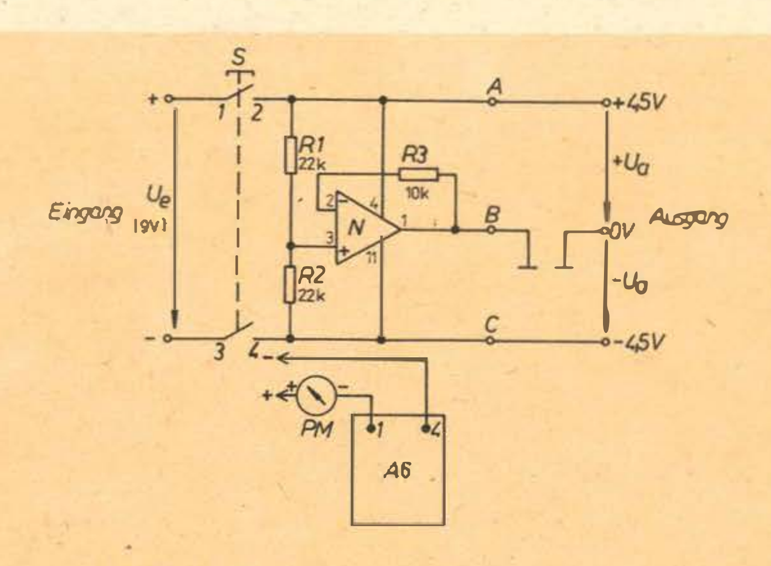



Abb. 4.02-S elektronischer Spannungsteiler für kleine Ausgangsströme

| | | | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S | | (BT) |
| Schichtwiderstand | R1 | 22 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R2 | 22 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R3 | 10 kΩ | |
| Operationsverstärker | N | B 084 D | (A5) |
| Meßwerk | PM | | (BT) |
| Meßmodul | | | (A6) |

Abb. 4.02-A

2. Variante: Symmetrischer elektronischer Spannungsteiler mit Verstärkerstufe

Sind größere Ströme notwendig, kann der Schaltung nach Abb. 4.02 eine Verstärkerstufe nachgeschaltet werden. Wir bauen dazu die Schaltung nach Abb. 4.03-S auf. Die Widerstände R3 und R4 werden noch nicht verwendet! Bei Verwendung dieser Schaltung ist die maximal zulässige Verlustleistung $P_{v\ max}$ der Transistoren zu beachten. Auf die Berechnung der Verlustleistung wollen wir hier noch nicht eingehen, sondern nur den Wert für den in unserer Schaltung zulässigen Kollektorstrom angeben.
Mit unseren Miniplasttransistoren als Verstärkerstufe und den Ausgangsspannungen +4,5 V und -4,5 V dürfen wir 45 mA als Kollektorstrom nicht überschreiten. In der Praxis werden Leistungstransistoren an Stelle der Miniplasttransistoren verwendet. Mit diesen Transistoren lassen sich höhere Ströme bewältigen. Außerdem sind noch weitere Bauelemente zum Schutz der Transistoren vor einem Kurzschluß am Ausgang der Schaltung nötig. Unsere Schaltung nach Abb.4.03-S hat keine solche Schutzschaltung.

Beachte:
Ein Kurzschluß der positiven oder negativen Spannung mit der "Künstlichen Masse" führt zur Zerstörung des jeweils stromführenden Transistors und ist deshalb unbedingt zu vermeiden.

3. Variante: Unsymmetrischer Spannungsteiler

Wird das Verhältnis der Widerstände R1 und R2 in Abb. 4.03-S zueinander geändert, erhalten wir unsymmetrische Ausgangsspannungen.

Beispiel:
Es sollen zwei Spannungen + 6 V und - 3 V zur Verfügung stehen.
Wir gehen von der bereits vorher genannten Verhältnisgleichung aus:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{+U_A}{-U_A}$$

Mit einem gewählten R1 von 22 kΩ ergibt sich für R2 ein Wert von:

$$R_2 = \frac{-U_A}{+U_A} \cdot R_1$$

$$R_2 = \frac{3\ V}{6\ V} \cdot 22\ k\Omega$$

$$R_2 = 11\ k\Omega$$

$R_2$ wird durch die Reihenschaltung von R3 = 8,2 kΩ und R4 = 2,7 kΩ ersetzt, da es einen Normwert von 11 kΩ in unserer Widerstandsreihe nicht gibt.
Wir überprüfen die Richtigkeit durch die entsprechende Änderung in der Schaltung nach Abb. 4.03-S und messen die Ausgangsspannung nach. Dabei ist wieder die Polarität der Spannungen und des Meßgerätes zu beachten.
Für den festen Spannungsteiler aus $R_1$ und $R_2$ bzw. R1 und R3, R4 können wir auch ein Potentiometer (z. B. 10 kΩ ) verwenden. Es läßt sich so jedes gewünschte Spannungsverhältnis einstellen. Wir probieren dies einmal selbständig, ohne weitere Anleitung.

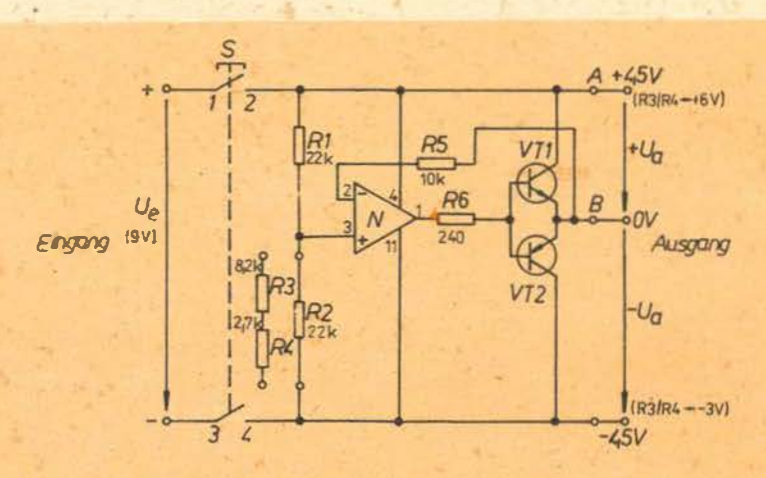



Abb. 4.03-S elektronischer Spannungsteiler für höhere Ausgangsströme

| | | | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S | | (BT) |
| Schichtwiderstand | R1 | 22 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R2 | 22 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R3 | 8,2 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R4 | 2,7 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R5 | 10 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R6 | 240Ω | |
| Transistor | VT1 | SC 236 E | (A3) |
| Transistor | VT2 | SC 307 E | (A3) |
| Operationsverstärker | N | B 084 D | (A5) |

Abb. 4.03-A

## 4.3. Der Treppenspannungsgenerator

Dieser Generator erzeugt eine Spannung, die sich periodisch um einen bestimmten Betrag ändert.
In Abb. 4.04 ist eine solche dargestellt.

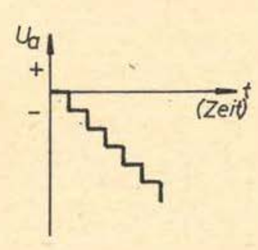



Abb. 4.04 Ausgangsspannung an einem Treppenspannungsgenerator

Eine Realisierungsmöglichkeit zeigt der Stromlaufplan Abb. 4.05-S. Der OV N1 arbeitet als astabiler Multivibrator. Er erzeugt eine Rechteckschwingung, deren Frequenz mit dem Potentiometer R2 einstellbar ist. Zu Beginn des Versuches sollte R2 in Mittenstellung stehen.

Zur Funktion des Rechteckgenerators:
Der Ausgang von N1 soll sich in der positiven Sättigung befinden, dann erhält der nichtinvertierende Eingang von N1 über den Spannungsteiler R3 - R4 ebenfalls eine positive Spannung. Vom Ausgang wird über R1 und R2 der Kondensator C1 positiv aufgeladen. Die Kondensatorspannung wird dem invertierenden Eingang zugeführt. Wird sie positiver als die Spannung am nichtinvertierenden Eingang, schaltet der Ausgang von N1 in die negative Sättigung um. Der nichtinvertierende Eingang erhält über den Spannungsteiler eine gegenüber Masse negative Spannung. Nun wird durch R1 und R2 verzögert der Kondensator entladen und auf eine negative Spannung umgeladen. Erst wenn diese negativer als die Spannung des nichtinvertierenden Eingangs wird, schaltet der Ausgang des OV's in die positive Sättigung. Damit ist wieder die Ausgangslage erreicht.
Die hier beschriebenen Vorgänge (astabiler Multivibrator mit OV) laufen sich ständig wiederholend ab - die Schaltung schwingt. Die Ausgangsspannung des Rechteckgenerators ist in Abb. 4.06 als Spannung $U_A$ dargestellt.
Sie gelangt durch die Kondensatoren C2 bis C4, die nur für die Umschaltflanken der Rechteckschwingung durchlässig sind, an Punkt B der Schaltung. Über dem Widerstand R6 fällt dann die in Abb. 4.06 ersichtliche Spannung $U_B$ ab. Diese besteht aus positiven und negativen Impulsen. Die Diode VD ist für die positiven Impulse in Durchlaßrichtung geschaltet und nur diese gelangen an den OV N2. Er bildet in Verbindung mit R5 und CS einen Integrator.

**Merke:**
Ein Integrator ist eine Schaltung, bei der die Höhe der Ausgangsspannung ein Maß für die Zeitdauer einer bestimmten Eingangsspannung ist. So erzeugt z. B. eine Gleichspannung, die ständig am Eingang liegt, eine linear wachsende Ausgangsspannung. Liegt dagegen eine Impulsfolge an, dann erhöht sich die Spannung während der Dauer des Impulses. In der Pause zwischen 2 Impulsen aber bleibt sie konstant.

In Abb. 4.05-S wurde der invertierende Eingang des OV's N2 als Eingang des Integrators gewählt. Die Eingangsimpulse sind positiv, also erzeugt der Integrator am Ausgang eine periodisch negativer werdende Spannung. Ist die Sättigungsspannung erreicht (keine Änderung der Anzeige des Meßgerätes mehr), wird der Integrator durch Betätigen des Tasters S2 auf den Anfangswert $U_a = 0$ V gesetzt (der Kondensator CS wird dabei entladen).
Wir bauen die Schaltung gemäß Abb. 4.05-S auf.
Die Abb. 4.06 zeigt dazu ausgewählte Spannungsverläufe an den markanten Punkten A, B und C.

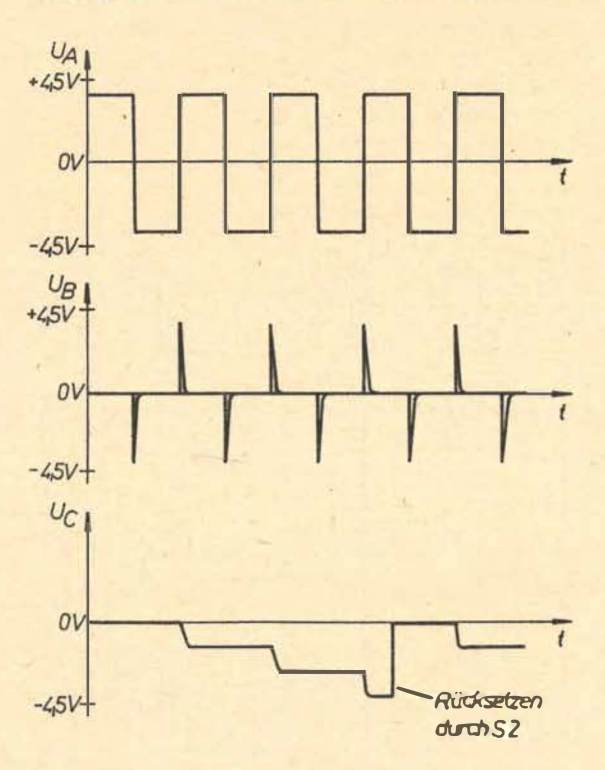



Abb. 4.06 Spannungsverläufe am Treppenspannungsgenerator nach Abb. 4.05-S

Am Meßgerät können wir sehen, wie sich die Spannung $U_C$ stufenweise ändert. Durch Verändern von R2 können wir die Frequenz variieren. Wir stellen fest, daß bei niedriger Frequenz die sprunghafte Änderung der Ausgangsspannung am besten zu erkennen ist.

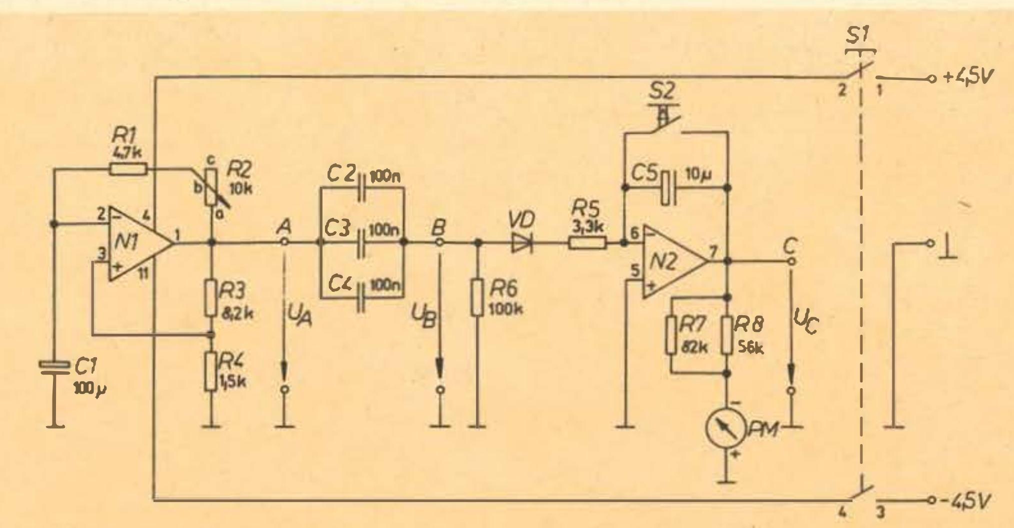



Abb. 4.05-S Treppenspannungsgenerator

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Schalter | S1 | | (BT) | Potentiometer | R2 | 10 kΩ | (BT) |
| Taster | S2 | | | Kondensator | C2 | 100 nF | |
| Schichtwiderstand | R1 | 4,7 kΩ | | Kondensator | C3 | 100 nF | |
| Schichtwiderstand | R3 | 8,2 kΩ | | Kondensator | C4 | 100 nF | |
| Schichtwiderstand | R4 | 1,5 kΩ | | Elektrolytkondensator | C1 | 100 µF | |
| Schichtwiderstand | R5 | 3,3 kΩ | | Elektrolytkondensator | C5 | 10 µF | |
| Schichtwiderstand | R6 | 100 kΩ | | Diode | VD | SAY 20 | |
| Schichtwiderstand | R7 | 82 kΩ | | Operationsverstärker | N1, N2 | B 084 D | (A5) |
| Schichtwiderstand | R8 | 56 kΩ | | Meßwerk | PM | | (BT) |

Abb. 4.05-A

Solch ein Treppenspannungsgenerator wird in der Praxis z. B. zur Kennlinienaufnahme von Transistoren mit Bildschirmgerät verwendet. Mit der sich automatisch verstellenden Treppenspannung wird hier die Basisemitterspannung und damit verschiedene Arbeitspunkte des Transistors automatisch eingestellt. Dies müßte ansonsten schrittweise mit der Hand geschehen und die Kennlinienaufnahme dauert viel länger.

## 4.4. Rechnen mit dem Operationsverstärker

Es gibt in der Technik zwei große Gruppen von Rechenmaschinen:

1. Digitalrechner (Informationsverarbeitung von diskreten Signalen)
2. Analogrechner (Informationsverarbeitung von kontinuierlichen Signalen)

Ein Digitalrechner im Miniformat ist der uns allen bekannte Taschenrechner.
Analogrechner bieten den Vorteil, daß mit ihnen besonders der Verlauf von Kurven, Funktionen usw. gut dargestellt werden kann. Die Genauigkeit ist zwar geringer als beim Digitalrechner, sie reicht aber aus.

Bei den modernen elektronischen Analogrechnern werden die Zahlen durch Spannungen und Ströme realisiert. Eine Spannung von 4 V bedeutet z.B. die Zahl 4.
Die eingegebenen Spannungen werden von beschalteten Operationsverstärkern verarbeitet, deren erste Anwendung auch in der Analogrechentechnik lag. OV's eignen sich für diesen Zweck besonders gut wegen ihrer hohen Leerlaufverstärkung und des hohen Eingangswiderstandes. Diese Eigenschaften zeichnen auch unseren B 084 aus.

Die einfachsten Bestandteile von Analogrechnern sind Addier- und Subtrahierverstärkerschaltungen. Diese wollen wir jetzt am praktischen Beispiel kennenlernen.

### 4.4.1. Ein Addierer für Spannungen

**Merke:**
Als Addierverstärker wird eine Schaltungseinheit mit mehreren Eingängen und einem Ausgang bezeichnet. Das Ausgangssignal entsteht durch gewichtete Addition der Eingangssignale.

Die Prinzipschaltung eines Addierers mit zwei Eingängen ist in Abb. 4.07 dargestellt. Die beiden Spannungen $U_1$ und $U_2$, welche unsere beiden Summanden darstellen sollen, werden addiert. Die Summe erscheint mit umgekehrtem Vorzeichen am Ausgang. Diese Addition erfolgt, wenn die Widerstände $R_1$, $R_2$ und $R_G$ gleich groß sind.

Mit entsprechend geä..derten Werten für die Widerstände erhält man auch unterschiedliche Wertigkeiten (Verstärkungen) der Summanden bei der Addition. Wir können also z. B. auch die folgende Aufgabe lösen:

$$0{,}5 \cdot U_1 + 2 \cdot U_2 = -U_a$$

**Beachte:**
Die negative Ausgangsspannung in der Schaltung nach Abb. 4.07 ergibt sich aus dem invertierenden Verhalten des OV's. Mit der Schaltung nach Abb. 4.08-S werden wir eine vorzeichenrichtige Addition durchführen.

Wie dies funktioniert und was wir beachten müssen wissen wir, wenn wir den folgenden Abschnitt gelesen und verstanden haben.
Um es am Anfang nicht so schwierig zu machen, wollen wir die mit der Schaltung nach Abb. 4.07 zu lösende Aufgabe

$$U_1 + U_2 = -U_a$$

betrachten.

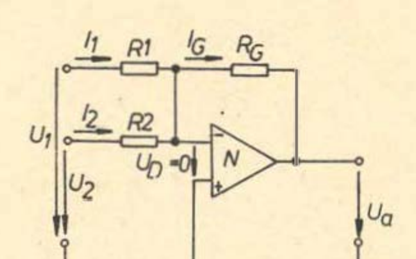



Abb. 4.07 Prinzipschaltung eines Addierers

Dabei soll die bereits genannte Bedingung $R_1 = R_2 = R_G = R$ gelten. Die Spannung an jedem Eingang des OV erhalten wir mit der gleichen Größe am Ausgang.

Der Operationsverstärker ist ein Bauelement mit sehr großer Verstärkung ($\geq$ 15 000), d.h., um eine Ausgangsspannung von 4,3 V zu erzeugen, wäre eine Differenz zwischen invertierendem und nichtinvertierendem Eingang von 0,28 mV notwendig. Wir begehen keinen großen Fehler, wenn wir dafür 0 V annehmen. Diese Vereinfachung ist möglich, da Ein- und Ausgangsspannungen im Voltbereich liegen.
Also befindet sich, wenn auch nur theoretisch, der invertierende Eingang ebenfalls auf Massepotential (man spricht auch von einer virtuellen Masse).

Der Strom, der in den Eingang des Operationsverstärkers hineinfließt, kann ebenfalls vernachlässigt werden. Somit ergibt sich unter Anwendung der 1. Kirchhoffschen Regel (Knotenpunktsatz) für den Knotenpunkt der 3 Teilströme:

$$I_1 + I_2 - I_G = 0$$

Weiterhin verwenden wir wie im Kapitel 5.2.1. des Anleitungsheftes 1 die 2. Kirchhoffsche Regel (Maschensatz).

1. In Bezug auf $U_1$ gilt:
   $- U_1 + I_1 \cdot R_1 + U_D = 0$
2. In Bezug auf $U_2$ gilt:
   $- U_2 + I_2 \cdot R_2 + U_D = 0$
3. In Bezug auf $U_a$ gilt:
   $U_e - U_D + I_G \cdot R_G = 0$

Wir formen die drei Maschengleichungen nach den Strömen um, setzen $U_D = 0$ V und erhalten:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2}$$

$$I_G = -\frac{U_a}{R_G}$$

Die Ausdrücke für die Ströme setzen wir in unseren Knotenpunktsatz ein:

$$\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_a}{R_G} = 0$$

Mit der Bedingung $R_1 = R_2 = R_G$ ergibt sich:

$$\frac{U_1}{R} + \frac{U_2}{R} + \frac{U_a}{R} = 0 \qquad | \cdot R$$

$$U_1 + U_2 + U_a = 0$$

$$U_1 + U_2 = - U_a$$

Die umgekehrte Polarität von $U_a$ ergibt sich aus der entgegengesetzten Stromrichtung von $I_G$ durch $R_G$ im Verhältnis zu $I_1$ und $I_2$.

Merke:
Für den Addierverstärker mit 2 Eingängen und der Bedingung $R_1 = R_2 = R_G$ ist die Ausgangsspannung die negative Summe der Eingangsspannungen.

$$U_a = - (U_1 + U_2)$$

Der Stromlaufplan in Abb. 4.08-S stellt eine einfache Addierschaltung dar. Die eigentliche Addierstufe wird hier mit dem OV N3 realisiert.

N1 und N2 arbeiten mit einer Verstärkung von 1 als Impedanzwandler (Spannungsfolger mit hohem Eingangswiderstand). Sie sichern dadurch, daß die Potentiometer R1 und R2 nicht belastet werden. Die an ihnen eingestellte Spannung steht an den Ausgängen von N1 und N2 niederohmig (belastbar) zur Verfügung. Die Beschaltung von N3 mit den Widerständen R3, R4 und der Parallelschaltung von R5 bis R8 ($R_G$ = 510 Ω) sichert die Addition der Spannungen ohne zusätzliche Verstärkung, also

$$1 \cdot U_1 + 1 \cdot U_2 = - U_a.$$

Die Umkehrung der Polarität der Spannungen durch den Addierer N3 wird mit dem mit einer Verstärkung von -1 (R9 ist gleich der Parallelschaltung von R10 bis R13) arbeitenden OV N4 aufgehoben.
Wir kehren also das Vorzeichen der Ausgangsspannung am Punkt C der Schaltung nach Abb. 4.08-S um und erhalten an Punkt D die vorzeichenrichtige Spannung nach der Formel

$$U_1 + U_2 = U_a .$$

Wir bauen die Schaltung nach Abb. 4.08-S auf!
Als Skale für das Voltmeter benutzten wir jetzt die Skale, bei der sich der Nullpunkt in der Mitte befindet.
Zuerst überprüfen wir durch Messungen die Funktion der Schaltung!

Beachte:
1. Vor der Messung müssen wir kontrollieren, ob der Zeiger des Meßinstrumentes bei Messen der Spannung zwischen Masse und -4,5 V in der Nullstellung steht. Ist dies nicht der Fall, muß der Zeiger durch Verändern des 47 kΩ Schichtdrehwiderstandes (R1 auf Modul A6) in die Nullstellung (Skalenmitte) gebracht werden. Auch bei der nachfolgenden Subtrahierschaltung verbleibt er in dieser Stellung. Nach Abschluß der beiden Versuche muß das Meßgerät für die Spannungsmessungen wieder geeicht werden, dazu verwenden wir wieder die Schaltung im Abschnitt 2.4.
2. Die Ausgangsspannungen von N1 und N2 sowie die Ausgangspannung von N4, also das Ergebnis der Addition müssen sich in einem Bereich von +3 V bis -3 V bewegen. Dadurch wird eine Sättigung der Operationsverstärkerausgänge verhindert. Es sind also entsprechende Eingangsspannungen zu verwenden.

Abb. 4.08-S Addierer

| Bauelement | Kennz. | Wert | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S | | (BT) |
| Potentiometer | R1 | 10 kΩ, | (BT) |
| Potentiometer | R2 | 100 kΩ | (BT) |
| Schichtwiderstand | R3 | 510 Ω | |
| Schichtwiderstand | R4 | 510 Ω | |
| Schichtwiderstand | R5 | 100 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R6 | 56 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R7 | 2,2 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R8 | 680 Ω | |
| Schichtwiderstand | R9 | 2,7 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R10 | 100 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R11 | 82 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R12 | 22 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R13 | 3,3 kΩ | |
| Operationsverstärker | N1-N4 | B 084 D | (A5) |
| Meßwerk | PM | | (BT) |
| Meßmodul | | | (A6) |

Abb. 4.08-A

Ein Beispiel für eine mögliche Einstellung der zu addierenden Zahlenwerte bzw. Spannungen $U_1$ und $U_2$:

1. R1 so stellen, daß am Punkt A $U_{aN1} = -1$ V gemessen wird.
2. R2 so stellen, daß am Punkt B $U_{aN2} = +2$ V gemessen wird.
3. am Punkt C messen: $U_{aN3} = -1$ V
4. am Punkt D messen: $U_{aN4} = +1$ V

Wir haben also gerechnet:

$$-1 + 2 = +1$$

Wenn wir die Funktionsweise des Addierers verstanden haben können wir auch die am Anfang gestellte Aufgabe

$$0{,}5 \cdot U_1 + 2 \cdot U_2 = U_a$$

lösen ($-U_a$ durch N4 in $+U_a$ gewandelt).
Dazu schauen wir uns die Formeln für den einfachen Addierer nach Abb. 4.07 an und verändern die Verstärkungsfaktoren für $U_1$ und $U_2$.
Das Ergebnis ist:
- Widerstand R1 muß doppelt so groß sein wie Widerstand $R_G$.
- Widerstand R2 muß halb so groß sein wie Widerstand $R_G$.

In der Schaltung nach Abb. 4.08-S müssen wir also die Widerstände R3 (entspricht Widerstand R1 in Abb. 4.07) und Widerstand R4 (entspricht Widerstand R2 in Abb. 4.07) verändern. Wir ersetzen R3 = 510 Ω durch einen 1 kΩ - Widerstand und schalten den freigewordenen Widerstand von 510 Ω R4 parallel.
Nun können unter Beachtung der Bedingung , daß die Ausgangsspannung von N4 sich im Bereich von +3 V bis -3 V bewegen muß, wieder Wertepaare in die neue Summengleichung eingesetzt werden.
Die Spannungen werden mit den Potentiometern R1 und R2 eingestellt und an den Punkten A und B gemessen. Das Ergebnis messen wir am Punkt D der Schaltung nach Abb. 4.08-S.

Beispiel für eine mögliche Einstellung:
1. Einstellung R1 $U_{aN1} = +3$ V am Punkt A
2. Einstellung R2 $U_{aN2} = +0{,}5$ V am Punkt B
3. Ergebnis messen: $U_{aN4} = +2{,}5$ V am Punkt D

Die Rechnung lautet also:

$$0{,}5 \cdot 3 + 2 \cdot 0{,}5 = 2{,}5$$

### 4.4.2. Der Operationsverstärker als Subtrahierer

Mit dem OV ist nicht nur die Addition, sondern auch die Differenzbildung zwischen Spannungen möglich, da seine beiden Eingänge in der Polarität entgegengesetzte Wirkungen am Ausgang hervorrufen. Deshalb sind beim Subtrahierer (auch Differenzverstärker genannt) beide Eingänge beschaltet und jeder erhält eine der beiden Eingangsspannungen.

**Merke:**
Ein Subtrahierverstärker wird durch Verknüpfung von invertierenden und nichtinvertierenden Verstärker realisiert. Das Ausgangssignal entsteht durch gewichtete Subtraktion der Eingangssignale.

Das Schaltungsprinzip ist in Abb. 4.09 dargestellt. Falls die nachfolgenden Schaltungserklärungen nicht genügen, können wir im Anleitungsheft 1 Kapitel "Operationsverstärker" nachlesen.

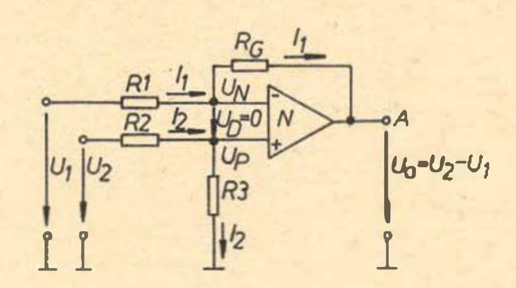



Abb. 4.09 Schaltungsprinzip einer Subtrahierschaltung

Genau wie beim Addierer begehen wir keinen großen Fehler, wenn wir für die Differenzspannung zwischen invertierendem und nichtinvertierendem Eingang Null Volt annehmen. Die Ströme, die in die Operationsverstärkereingänge hineinfließen, können wir ebenfalls vernachlässigen. Für die Widerstände soll gelten:

$$R1 = R_G \quad \text{und} \quad R2 = R3 \ .$$

Zum besseren Verständnis wollen wir den Zusammenhang zwischen der Ausgangsspannung und den beiden Eingangsspannungen getrennt betrachten. Die Abhängigkeit der Ausgangsspannung $U_a$ von der Spannung $U_1$ erkennen wir, wenn $U_2 = 0$, d.h., R2 auf Masse gelegt wird
(In Abb. 4.10 dargestellt.)

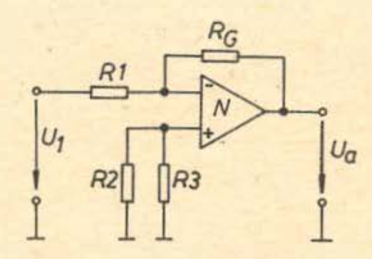



Abb. 4.10 Subtrahierschaltung nach Abb. 4.09 mit $U_2 = 0$ V

Wir erhalten einen invertierenden Verstärker, für dessen Verstärkung gilt:

$$V = -\frac{R_G}{R1}$$

Da R1 und $R_G$ gleichgroß sind, ergibt sich

$V = -1$, also

$U_a = -U_1$ bei $U_2 = 0$.

Wie sich $U_2$ auf die Ausgangsspannung auswirkt, stellen wir fest, indem wir $U_1 = 0$ setzen und R1 damit auf Masse gelegt wird (dargestellt in Abb. 4.11).

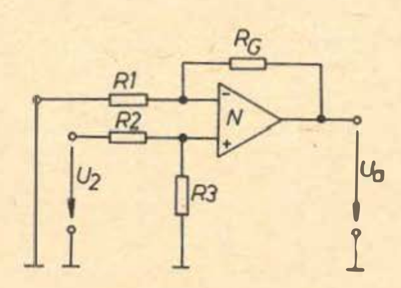



Abb. 4.11 Subtrahierschaltung nach Abb. 4.09 mit $U_1 = 0$ V

Die Verstärkung des OV's ist jetzt durch die Gegenkopplung $R_G$ und R1 festgelegt.
Es wird ein Teil der Ausgangsspannung auf den invertierenden Eingang zurückgeführt.
Für die Verstärkung gilt:

$$V = 1 + \frac{R_G}{R1}$$

Mit $R_G = R_1$ ergibt sich:

$$V = 1 + \frac{R1}{R1} = 1 + 1$$

$$\underline{\underline{V = 2}}$$

Diese Verstärkung bezieht sich auf den nichtinvertierenden Eingang des OV's.
Davor aber befinden sich noch die Widerstände R2 und R3. Diese arbeiten als Spannungsteiler, und da sie gleichgroß sind (R2 = R3), wird die Eingangsspannung halbiert bevor sie den nichtinvertierenden Eingang erreicht.
Für die Abhängigkeit der Spannung $U_a$ von $U_2$ können wir also schreiben:

$$U_a = U_2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2$$

$$U_a = U_2 \quad \text{bei } U_1 = 0$$

Weil die Differenzspannung $U_D$ annähernd 0 ist, beeinflussen sich $U_1$ und $U_2$ gegenseitig nicht.

**Merke:**
Für die Ausgangsspannung des Subtrahierers nach Abb. 4.09 und der Bedingung R1 = $R_G$ und R2 = R3 ergibt sich daher:

$$U_a = U_2 - U_1$$

Der Aufbau des Subtrahierers erfolgt nach Abb. 4.12-S. Für die Einstellung der Spannungswerte benutzen wir wieder die Skale mit der Nullage in der Mitte. Es gilt R3 = R7 und R4 = R5 ‖ R6.
Wir beginnen beim Versuch mit der Einstellung beider Potentiometer auf 0 Volt (Skalenmitte). In diesem Fall müssen die Ausgänge A, B und C der OV's ebenfalls eine Spannung von 0 Volt führen.
Variieren wir die Spannung am nichtinvertierenden Eingang von N2 durch Betätigen des Potentiometers R2, besitzen der Ausgang von N2 und der Ausgang von N3 stets die gleiche Spannung mit gleicher Polarität.

Es gilt $U_a = U_2$, da $U_1 = 0$ V ist.

Stellt man $U_2$ wieder auf 0 Volt mit R2 ein und verändert nun $U_1$ durch Betätigen von R1, zeigt der Ausgang von N3 die gleichgroße Spannung mit umgekehrter Polarität des Ausgangs von N1 an.
Die Eingangsspannung $U_1$ wird invertiert.

Es gilt:
$U_a = -U_1$, da $U_2 = 0$ V ist.

Wir Überprüfen die Differenzbildung der Schaltung durch folgende Einstellungen:

$U_1 = 0$ V (zu messen am Punkt A)
$U_2 = +2$ V (zu messen am Punkt B)

Am Ausgang von N3 müssen ebenfalls +2 V gegen Masse meßbar sein (zu messen am Punkt C).
Wir haben gerechnet: $U_a = 2\text{ V} - 0\text{ V}$
$\underline{\underline{U_e = 2\text{ V}}}$

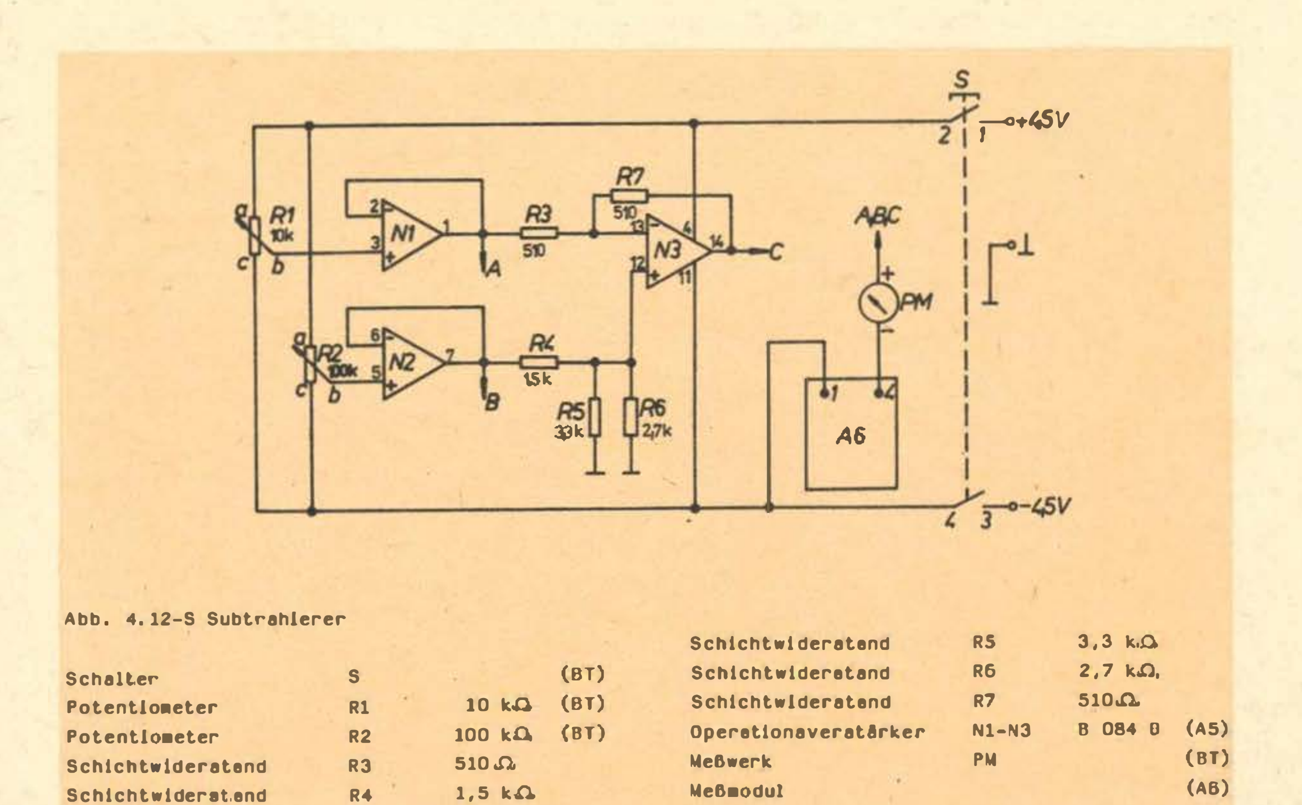



Abb. 4.12-S Subtrahierer

| | | | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S | | (BT) |
| Potentiometer | R1 | 10 kΩ | (BT) |
| Potentiometer | R2 | 100 kΩ | (BT) |
| Schichtwiderstand | R3 | 510 Ω | |
| Schichtwiderstand | R4 | 1,5 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R5 | 3,3 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R6 | 2,7 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R7 | 510 Ω | |
| Operationsverstärker | N1–N3 | B 084 D | (A5) |
| Meßwerk | PM | | (BT) |
| Meßmodul | | | (A6) |

Abb. 4.12-A

Wir belassen das Meßgerät am Ausgang von N3 und regeln mit R1 den Zeigerausschlag zurück auf 0 Volt. Am Ausgang von N1 muß nun folgende Spannung ($U_1$) meßbar sein:

$$U_a = U_2 - U_1$$
$$-U_1 = U_a - U_2$$
$$U_1 = U_2 - U_a$$
$$U_1 = 2V - 0V$$
$$\underline{\underline{U_1 = 2V}}$$

Wir testen noch andere Einstellungen und überprüfen durch Messungen und Berechnungen die Funktion der Schaltung!

Beachte:
Wir bleiben bei den eingestellten Werten für $U_1$ und $U_2$, sowie auch beim Ergebnis der Differenzbildung im Bereich von -3 V bis +3 V! Nach Abschluß des Versuches dürfen wir das Eichen des Meßmoduls A6 nicht vergessen, da wir ja in den nachfolgenden Schaltungen wieder genaue Spannungswerte messen wollen.

### 4.5. Ein sensortastengesteuerter Langzeitschalter

Der in Abb. 4.13-S dargestellte Langzeitschalter bewirkt das selbsttätige Ausschalten einer LED nach einer maximalen Zeitspanne von ungefähr 30 min. Die Schaltung hat also die Funktion eines Mono-Flops, wie wir ihn schon im Anleitungsheft 1 Abschnitt 4.2. (mit Transistoren) und Abschnitt 5.3.4. (mit OV) kennengelernt haben.
Die Schaltung nach Abb. 4.13-S ist komfortabler eingerichtet und die maximal erreichbare Einschaltzeit ist wesentlich höher, als bei den vorher genannten Schaltungen. Gestartet wird der Langzeitschalter durch Berühren einer Sensortaste (S2). Ein vorzeitiges Ausschalten ist mittels Sensortaste S3 möglich. Die LED VD zeigt uns den Zustand des Mono-Flops (EIN oder AUS) an. In der Praxis wird für die LED und den Widerstand R16 ein Relais angeschlossen. Dieses schaltet dann z. B. das Treppenhauslicht oder ein Radio (Einschlafautomatik).

Wie funktioniert die Schaltung?
Wir schauen uns dazu Abb. 4.13-S an und vergleichen mit den nachfolgenden Bemerkungen.

Eingabeschaltung:
Die OV N1 und N2 realisieren eine Sensortaste mit Speicherfunktion, d. h., der geschaltete Zustand bleibt bis zur nächsten Eingabe erhalten.
N1 arbeitet als Gleichspannungsverstärkung mit hoher Verstärkung, um die geringen Spannungen der Sensortaste zum Schalten nutzen zu können.
Aus diesem Grunde ist der Gegenkopplungswiderstand R2 über den Spannungsteiler R3/R4 mit dem Ausgang verbunden.
Wird keine Sensortaste berührt, beträgt die Ausgangsspannung von N1 ungefähr 0 V.
Der invertierende Betrieb des OV's erzeugt bei Überbrückung von S2 ("Start") eine negative und von S3 ("Aus") eine positive Spannung am Ausgang von N1. Die Kondensatoren C1 und C2 sorgen für ein einwandfreies Umschalten.
Der Schmitt-Trigger N2 übernimmt die Speicherung des zuletzt eingegebenen Zustandes.
Eine negative Spannung am invertierenden Eingang steuert den Ausgang von N2 in die positive Sättigung.
Über den Spannungsteiler (R5/R6) gelangt ungefähr die halbe Ausgangsspannung ($\approx$+2 V) auf den nichtinvertierenden Eingang. Nach Loslassen der Sensortaste S2 erhält der invertierende Eingang von N2 etwa 0 V.
Ein Umschalten von N2 würde aber erst bei einer positiveren Spannung am invertierenden Eingang als am nichtinvertierenden erfolgen. Der eingegebene Zustand bleibt somit erhalten.
Berührt man die Sensortaste S3, laufen die Vorgänge mit umgekehrter Polarität ab. Der Ausgang von N2 befindet sich in der negativen Sättigung. Auch dieser Zustand wird nach dem bereits beschriebenem Prinzip gespeichert.
Die Spannung am nichtinvertierenden Eingang von N2 beträgt entweder +2 V oder -2 V. Ein Umschalten erfolgt erst bei einer etwas größeren Spannung gleicher Polarität am invertierenden Eingang. Dieses Schaltverhalten ist typisch für den Schmitt-Trigger und wird Hysterese (Anleitungsheft 1, Absch. 4.4 ) genannt.

Mono-Flop:
Das Ausgangssignal des Schmitt-Triggers N2 steuert den eigentlichen Zeitgeber. Dieser besteht aus einem zweiten Schmitt-Trigger, N3, und dem OV N4. Letzterer steuert die Aufladung des zeitbestimmenden Kondensators C5 bzw. C6.

Zustand "Aus"
(Sensortaste S3 betätigt oder AUS nach Ablauf der Zeit)
Die LED VD ist dunkel. Der Transistor VT2 ist gesperrt, die Ausgänge von N2 und N3 befinden sich in der negativen Sättigung. Der zeitbestimmende Kondensator C5 oder C6 wird über R9 und den Transistor VT 1 entladen.Deshalb liegt am nichtinvertierenden Eingang von N4 und am invertierenden Eingang von N3 eine Spannung von $\approx$0,2 V an. Da N4 als Spannungsfolger geschaltet ist (invertierender Eingang mit Ausgang verbunden - nichtinvertierender Eingang erhält Eingangsspannung), werden vom Meßgerät ebenfalls 0,2 V angezeigt.

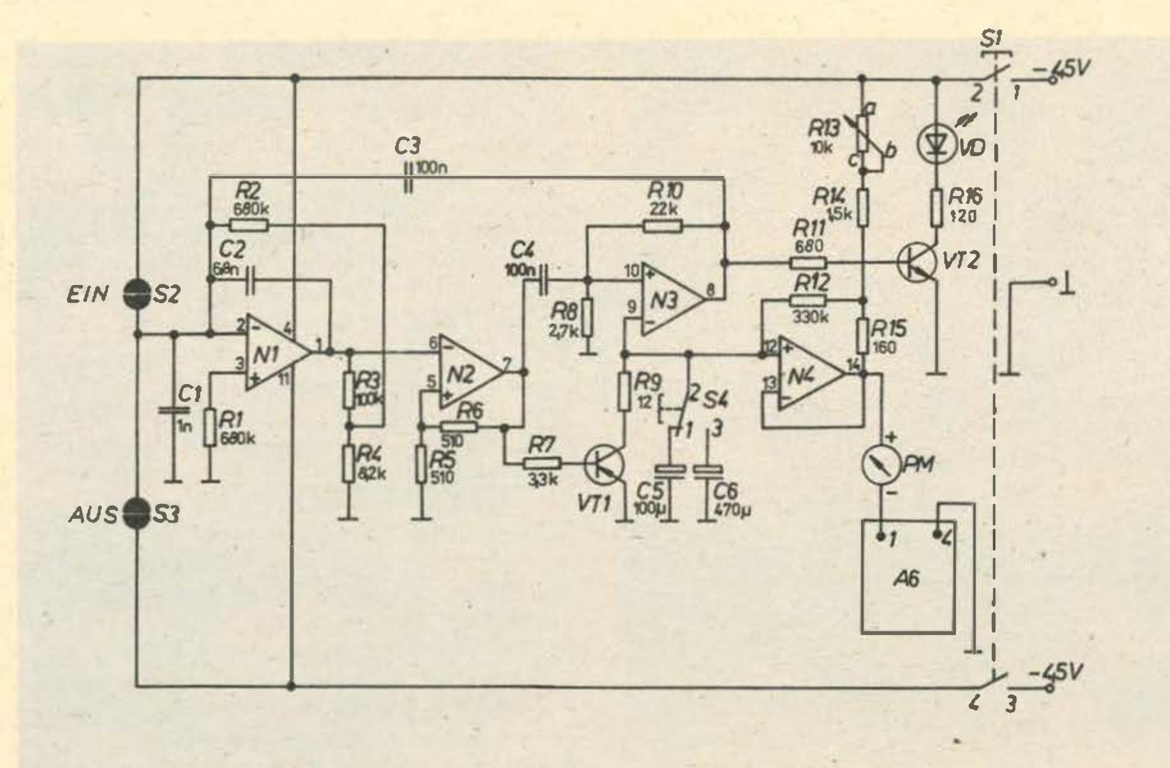



Abb. 4.13-S Langzeitschalter

Abb. 4.13-A

| | | | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S1,S4 | | (BT) |
| Sensortaste | S2,S3 | | |
| Schichtwiderstand | R1 | 680 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R2 | 680 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R3 | 100 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R4 | 8,2 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R5 | 510 Ω | |
| Schichtwiderstand | R6 | 510 Ω | |
| Schichtwiderstand | R7 | 3,3 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R8 | 2,7 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R9 | 12 Ω | |
| Schichtwiderstand | R10 | 22 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R11 | 680 Ω | |
| Schichtwiderstand | R12 | 330 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R14 | 1,5 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R15 | 160 Ω | |
| Schichtwiderstand | R16 | 120 Ω | |
| Potentiometer | R13 | 10 kΩ | (BT) |
| Kondensator | C1 | 1 nF | |
| Kondensator | C2 | 6,8 nF | |
| Kondensator | C3 | 100 nF | |
| Elektrolytkondensator | C4 | 100 nF | |
| Elektrolytkondensator | C5 | 100 µF | |
| Elektrolytkondensator | C6 | 470 µF | |
| Lichtemitterdiode | VD | VQA 13-1 | (BT) |
| Transistor | VT1 | SC 307 | (A3) |
| Transistor | VT2 | SC 236 | (A3) |
| Operationsverstärker | N1-N4 | B 084 D | (A5) |
| Meßwerk | PM | | (BT) |
| Meßmodul | | | (A6) |

Zustand 'Ein'
(Sensortaste S2 betätigt)
Erreicht wird dieser Zustand durch das Berühren der Sensortaste S2. Der Ausgang des Schmitt-Triggers N2 schaltet in die positive Sättigung um. Der Transistor VT 1 sperrt jetzt. Der Kondensator C4 bildet aus dem Umschaltvorgang von N2 einen positiven Impuls an R8. Dieser gelangt an den nichtinvertierenden Eingang von N3, welcher dadurch kurzzeitig positiver wird als der invertierende. Infolge dessen schaltet der Ausgang des Schmitt-Triggers N3 in die positive Sättigung um. Der Transistor VT2 erhält einen Basisstrom und schaltet damit die LED VD ein.
Die Ladung des Kondensators C5 oder C6, je nach Stellung von S4, erfolgt über den Widerstand R12.
Die Spannung dazu stellt der einstellbare Spannungsteiler R13, R14, R15 bereit.

Beachte:
Der maximale Wert des Potentiometers R13 entspricht einem geringen Ladestrom und damit einem langen Einschaltvorgang.

Wir können somit die Zeitdauer einstellen.
Eine Besonderheit der Schaltung besteht im Anschluß des Spannungsteilers an den Ausgang des Operationsverstärkers N4, dessen Potential mit der Ladung des Kondensators ansteigt. Dadurch ergeben sich mit relativ niederohmigem R12 recht große Schaltzeiten.
Der Spannungsanstieg am Kondensator kann mit dem Meßgerät am Ausgang von N4 verfolgt werden.

Umschalten vom Zustand 'Ein' in Zustand 'Aus'

Erreicht die Spannung am Kondensator den Umschaltpunkt des Triggers N3, geht dessen Ausgang in die negative Sättigung.
Der Transistor VT 2 wird ausgeschaltet und die LED VD verlischt. Der Umschaltvorgang des Ausgangs von N3 wird durch den Kondensator C3 auf den Eingang des Sensortastenverstärkers N1 gegeben. Dieser negative Impuls entspricht in seiner Wirkung einem kurzen Überbrücken der Sensortaste S3 und schaltet den Trigger N2 in seinen 'Aus'-Zustand.
Jetzt stellen sich wieder alle Verhältnisse, wie im Abschnitt 'Aus'-Zustand beschrieben, ein.
Wir bauen den Versuch gemäß Abb. 4.13-S auf und beachten dabei, daß die invertierenden und nichtinvertierenden Eingänge der OV N3 und N4 der Übersichtlichkeit wegen im Stromlaufplan umgekehrt eingezeichnet sind. Mit dem Meßgerät können alle Potentiale an den Operationsverstärkerausgängen nachgemessen werden. (Polarität beachten!)
Wir vergleichen die Messungen mit der Funktionsbeschreibung!

# 5. Meßwerte – digital verarbeitet

Wir haben uns in den bisherigen Versuchen mit der Verarbeitung und der Messung von analogen Spannungen und Strömen beschäftigt.
In der modernen Elektronik und besonders in der Rechentechnik wird aber die digitale Verarbeitung und Speicherung von analogen Größen (z. B. Strom, Spannung) immer häufiger. Das Eingangssignal ist analog, während die Verarbeitung und Ausgabe der Information (Ziffernanzeige) rein digital erfolgt.
Als Beispiel können wir hier das Digitalvoltmeter nennen.
Um aber analoge Größen digital verarbeiten zu können, benötigen wir entsprechende Eingangsstufen, die eine Umsetzung der analogen Größen in digitale realisieren. Diese Anpaßstufen werden als Analog-Digital-Umsetzer (ADU) bezeichnet.
Wie eine Analog-Digital-Umsetzung praktisch erfolgt, werden wir in unserem Versuch sehen.
Wenn wir das Ergebnis einer digitalen Verarbeitung oder auch Speicherung analog anzeigen wollen, benötigen wir eine entsprechende Ausgangsstufe – einen Digital-Analog-Umsetzer (DAU).
Auch hierzu werden wir einen Versuch durchführen.
Doch bevor wir uns diesen Umsetzern zuwenden, wollen wir im nächsten Abschnitt ein paar wichtige Begriffe der Digitaltechnik verdeutlichen, die wir zum Verständnis der Schaltungen benötigen.

## 5.1. Analoge und digitale Signale

Was sind Signale und wozu benötigen wir sie?

Signale dienen der Übertragung von Informationen. Zum Beispiel stellt ein bestimmter Spannungsverlauf ein Signal dar.

**Merke:**
- Der Begriff Information hat im allgemeinen Sprachgebrauch die Bedeutung von Auskunft, Nachricht oder Mitteilung. Er bezeichnet den Inhalt von Neuigkeiten bzw. Aussagen.
- Mit Signal bezeichnen wir eine technische (meßbare) Größe, die eine Information enthält (auch Informationsgehalt genannt), also Träger der Information ist.

Beispiel:
Beim Spannungsverlauf beinhaltet die Information die Art und Weise des Verlaufes. Wir können die Spannung (also unser Signal) messen.

Die Signale wollen wir nach der Art ihres Verlaufes in analoge und digitale Signale aufteilen. Die Abb. 5.01 zeigt dafür Beispiele.

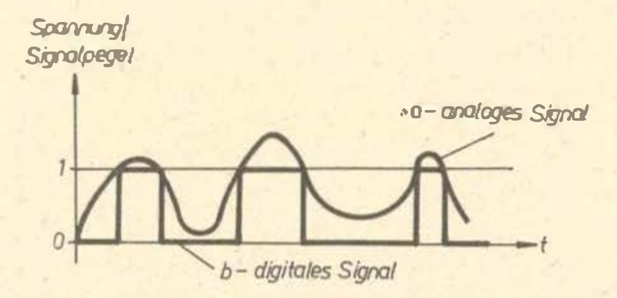



Abb. 5.01 analoges Signal und digitales Signal

**analoges Signal:**
Ein analoges Signal besitzt einen sich stetig (kontinuierlich) verändernden Verlauf. Damit kann jeder beliebige Wert bestimmt werden (Spannungsverlauf a in Abb. 5.01).

**digitales Signal:**
Ein digitales Signal besitzt nur bestimmte Signalwerte (Signalpegel).
Wir wollen hier, wie auch im Anleitungsheft 1, nur die binären digitalen Signale (2 Signalwerte) behandeln. Es sind nur die Signalpegel 0 oder 1 möglich (Spannungsverlauf b in Abb. 5.01).

Einige Erläuterungen zu den digitalen Signalen finden wir auch im Anleitungsheft 1 im Kapitel 3.

Wie können wir digitale Systeme darstellen?

Digitale Signale lassen sich durch Zahlensysteme darstellen, die ineinander umgewandelt werden können.
Vorraussetzung dafür ist eine Kodierungsvorschrift.
Betrachten wir das am Beispiel des uns bekannten Dezimalsystems:

$$123 = 100 + 20 + 3$$
$$123 = 1 \cdot 100 + 2 \cdot 10 + 3 \cdot 1$$
$$123 = 1 \cdot 10^2 + 2 \cdot 10^1 + 3 \cdot 10^0$$

Oder allgemeiner geschrieben:

$$x_2x_1x_0 = x_2 \cdot B^2 + x_1 \cdot B^1 + x_0 B^0$$

Dabei ist B die Basis unseres Zahlensystems, also bei Dezimalzahlen B = 10.
Bei Dezimalzahlen wird eine Stelle (z. B. $x_1$) mit 10 Zuständen belegt. Dazu sind 10 Ziffern notwendig (0 bis 9).
Mit Dualzahlen dagegen können mit einer Stelle nur 2 Zustände (0, 1) dargestellt werden. Die Basis des Dualzahlensystems ist also die Zwei. Dieses Zahlensystem bietet sich in der Elek-

tronik an, da zwei Zustände sehr leicht als elektrisches Signal dargestellt und verarbeitet werden können.

Zum Beispiel kann die Spannung 5 V oder 0 V betragen, was "EIN" oder "AUS", "Ja" oder "Nicht" bedeuten kann.

Zur Veranschaulichung wollen wir die Zahl 5 im Dualzahlensystem darstellen. Dazu müssen wir die Dezimalzahl 5 in Potenzen der Basiszahl 2 zerlegen:

Die ersten drei Poteozen lauten: $2^0 = 1$
$2^1 = 2$
$2^2 = 4$

Damit ergibt sich die Zahl 5 zu:

$$5 = 4 + 0 + 1$$
$$5 = 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$$
$$5 = 1 \quad 0 \quad 1$$

Die Dualzahl 1 0 1 entspricht der Dezimalzahl 5 und enthält nur die Faktoren der Potenzen zur Basis 2.

Jede Stelle einer Dualzahl stellt ein Bit dar, wobei wiederum jedem Bit eine bestimmte Wertigkeit zugeordnet wird. Die Wertigkeiten entsprechen den oben aufgeführten Potenzen. Um die Zahlen 0 - 9 darstellen zu können sind 4 Bit notwendig. Den Bit's sind die Wertigkeiten $2^3$, $2^2$, $2^1$, $2^0$ zugeordnet.

| Dezimalzahl | Dualzahl | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Bit 3 | Bit 2 | Bit 1 | Bit 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 2 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 4 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 6 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 7 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 9 | 1 | 0 | 0 | 1 |

Tabelle 5.01 Dezimalzahlen und Dualzahlen

## 5.2. Analog-Digital-Umsetzer (ADU)

Der ADU ist eine häufig benötigte Baugruppe, wenn analoge Eingangsgrößen digital verarbeitet werden sollen. So zum Beispiel im Digitalvoltmeter, einem elektronischen Meßgerät zur Spannungsmessung. Die zu messende analoge Eingangsspannung wird in eine digitales Signal umgesetzt und seine Größe durch Ziffern angezeigt.

In den nachfolgenden Versuchen sollen zwei Möglichkeiten (Komparatorprinzip und Frequenzwandlerprinzip) für den Aufbau eines ADU erläutert werden.

Natürlich weisen diese Schaltungen keine allzu große Genauigkeit auf, so daß wir die analoge Größe nur recht grob variieren können. Zur Veranschaulichung des Prinzips sind sie aber sehr gut geeignet.

### 5.2.1. Ein ADU nach dem Komparatorprinzip

Im Versuch nach Abb. 5.02-S soll ein ADU, der nach dem sogenannten Komparatorprinzip arbeitet, erläutert werden. Die Funktionsweise eines Komparators wurde im Anleitungsheft 1 und auch in diesem Anleitungsheft erläutert. Drei Komparatoren (N2 - N4) mit unterschiedlichen Schaltschwellen zeigen an, welchen Bereich die analoge Eingangsspannung erreicht hat. Durch die zwei LED's VD4 und VD5 wird dies dual angezeigt. Ein Spannungsteiler (R3 bis R6) und die Diode VD1 legen die Referenzspannungen - und damit die Schaltschwellen der Komparatoren - fest.

Ihre Größe ist in Tabelle 5.02 dargestellt.

| Operationsverstärker | N2 | N3 | N4 |
|---|---|---|---|
| Eingang | invertierender | invertierender | nichtinvertierender |
| $U_{Ref}$ | -1 V | -2 V | -3 V |

Tabelle 5.02 Schaltschwellen des Komparators

Die Eingangsspannung wird an dem Potentiometer R1 eingestellt. Der Operationsverstärker N1 arbeitet mit einer Verstärkung von 1, da sein Ausgang mit dem invertierenden Eingang verbunden ist.

Die Ausgangsspannung "folgt" der Eingangsspannung am nichtinvertierenden Eingang, deshalb wird diese Schaltung auch "Spannungsfolger" genannt.

Durch ihren hohen Eingangswiderstand sichert diese Stufe, daß das Potentiometer nicht belastet wird. Man nutzt hier die Eigenschaft des Spannungsfolgers als Impedanzwandler (hoher Eingangswiderstand, niedriger Ausgangswiderstand).

Durch den niederohmigen Ausgang stellt er eine von der Belastung unabhängige Spannung bereit. Diese (analoge Eingangsspannung) wird vom Meßgerät angezeigt und auch den Komparatoren N2 bis N4 zugeführt.

Wir stellen, nach dem Aufbau der Schaltung gemäß Abb. 5.02-S, zunächst mit R1 0 Volt am Meßgerät ein (linker Anschlag des Potentiometers). Jetzt liegen die nichtinvertierenden Eingänge von N2 und N3 ebenfalls auf 0 V und damit auf positiverem Potential als die invertierenden (siehe dazu Tabelle 5.02). Die Ausgänge von N2 und N3 befinden sich in der positiven Sättigung. Bei

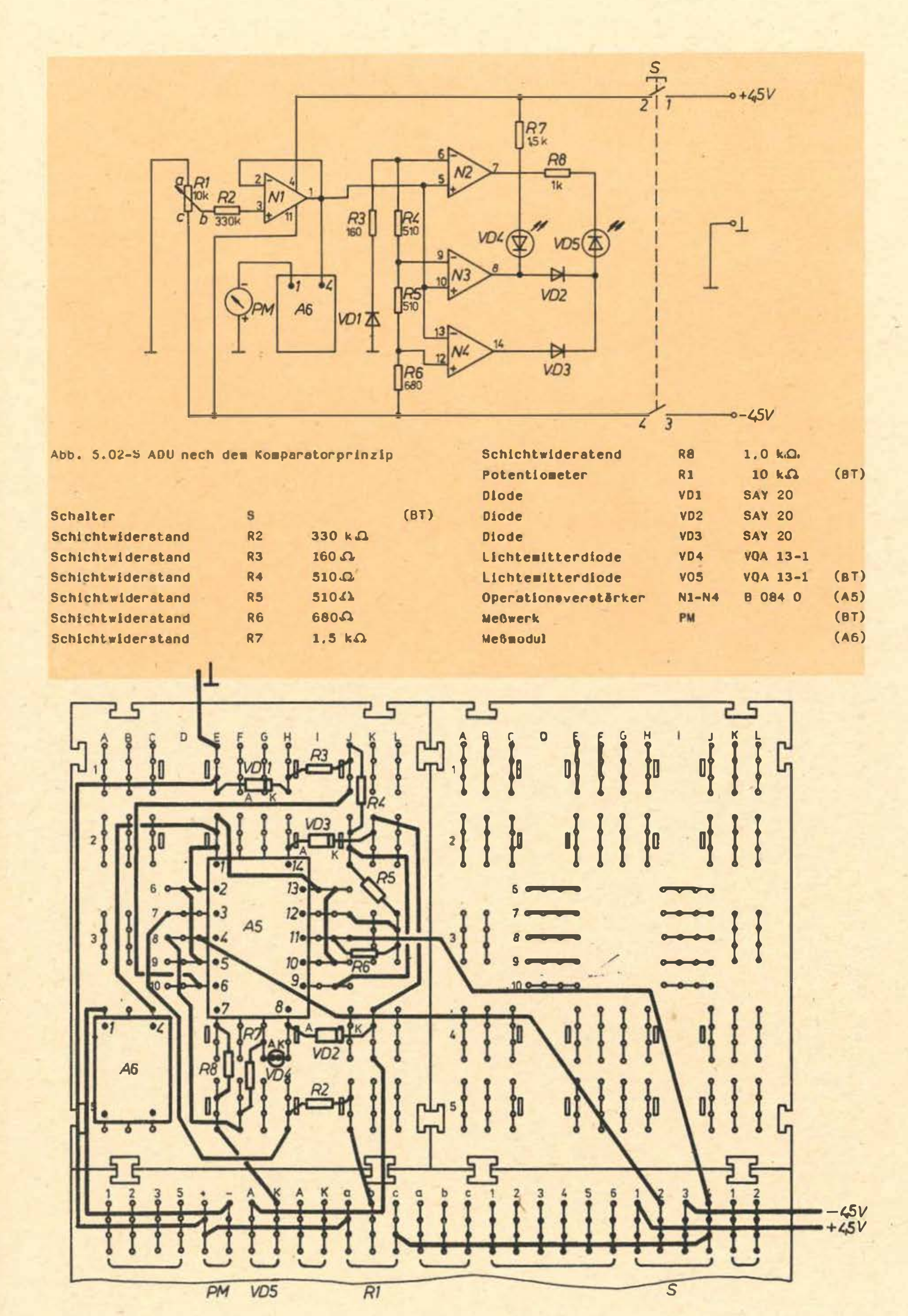



Abb. 5.02-S ADU nach dem Komparatorprinzip

| | | | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S | | (BT) |
| Schichtwiderstand | R2 | 330 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R3 | 160 Ω | |
| Schichtwiderstand | R4 | 510 Ω | |
| Schichtwiderstand | R5 | 510 Ω | |
| Schichtwiderstand | R6 | 680 Ω | |
| Schichtwiderstand | R7 | 1,5 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R8 | 1,0 kΩ | |
| Potentiometer | R1 | 10 kΩ | (BT) |
| Diode | VD1 | SAY 20 | |
| Diode | VD2 | SAY 20 | |
| Diode | VD3 | SAY 20 | |
| Lichtemitterdiode | VD4 | VQA 13-1 | |
| Lichtemitterdiode | VD5 | VQA 13-1 | (BT) |
| Operationsverstärker | N1–N4 | B 084 D | (A5) |
| Meßwerk | PM | | (BT) |
| Meßmodul | | | (A6) |

Abb. 5.02-A

N4 liegen die Verhältnisse umgekehrt, da die Referenzspannung am nichtinvertierenden Eingang anliegt. Sein Ausgang führt negatives Potential.
Die Katode der LED VD4 erhält Pluspotential von N3, die Katode der LED VD5 erhält es von N2.
Die LED's VD4 und VD5 leuchten nicht. Das Minuspotential des Ausgangs von N4 wird durch die Diode VD3 gesperrt (Minus an der Anode).

**Merke:**
Wir beachten bei weiteren Messungen die Polung des Meßinstrumentes in der Schaltung. Es werden negative Spannungen angezeigt!

Verstellt man an R1 die Spannung zu negativeren Werten hin, so leuchtet ab einer Spannung von ca. -1 V (1. Referenzspannung) die LED VD5. Ihre Katode erhält vom Ausgang des bei dieser Spannung umschaltenden OVs N2 Minuspotential.
Die Anzeige durch die LED's,die sich in Abhängigkeit von der mit R1 eingestellten Spannung ergibt, ist in Tabelle 5.03 dargestellt. Diese Tabelle soll helfen, die der analogen Eingangsspannung entsprechende digitale Anzeige besser zu überblicken.
Dabei wenden wir das in Abschnitt 5.1. Gelernte an und ordnen den Zuständen der LED's (aus, ein) die entsprechenden Dual- und Dezimalzahlen zu.
Wir überprüfen danach die Funktion der Schaltung!
In digitalen Meßgeräten geschieht die Umsetzung so fein, daß ein Tausendstel Volt (1 mV) angezeigt werden kann.

**Merke:**
Der Analog-Digital-Umsetzer setzt analoge Eingangsspannungen in digitale Signale um.

In unserem Beispiel erfolgt die Anzeige dual durch die LED's.

## 5.2.2. Ein ADU nach dem Spannungs-Frequenzwandlerprinzip

Im Gegensatz zu dem ADU im Abschnitt 5.2.1. wird im nachfolgenden ADU die Information über die Höhe einer am Eingang angelegten analogen Spannung digital in einer Frequenz verschlüsselt.
Wir bauen die Schaltung nach Abb. 5.03-S auf!

Die Frequenz kann digital gemessen und als Spannung angezeigt werden. Wir sprechen deshalb von einem Spannungs-Frequenzwandler.

**Merke:**
Der Spannungs-Frequenzwandler erzeugt in Abhängigkeit von der Höhe der angelegten Gleichspannung $U_E$, die mit dem Potentiometer R1 eingestellt werden kann, pro Zeiteinheit eine bestimmte Anzahl von Impulsen. Er erzeugt also eine von der Eingangsspannung abhängige Frequenz.

Der OV N1 arbeitet als Integrator, das heißt er liefert eine stetig wachsende Spannung an seinem Ausgang. Ob die Spannung $U_{A1}$ größer oder kleiner wird, ob der Kondensator C1 auf- oder entladen wird, bestimmt der OV N2, der als Komparator geschaltet ist und der mit Hilfe von VT 1 den Entladevorgang an C1 steuert.
Die Entladung des Kondensators C1 erfolgt über Transistor VT 1 und den Widerstand R4. Am Ausgang von OV N1 entsteht so eine Dreieckspannung.
Die Umschaltpunkte des Komparators werden durch die Widerstände R3 und R4 festgelegt. Am Ausgang von OV N2 ($U_{A2}$) stehen schmale positive Impulse zur Verfügung.
Im Diagramm Abb. 5.04 sind die Spannungsverläufe an ausgewählten Punkten der Schaltung dargestellt.
Um die Impulse am Komparatorausgang OV N2 hörbar zu machen, muß die Impulsbreite erhöht werden.Dies geschieht durch den als Mono-Flop geschalteten OV N3. An seinem Ausgang steht die Spannung $U_{A3}$ zur weiteren digitalen Verarbeitung bereit.

| analoger Eingangsspannungsbereich (mit R1 einstellbare negative Eingangsspannung) | Polarität der Operationsverstärkerausgänge N2 | N3 | N4 | Zustand der LED VD4 | VD5 | Dualzahl $2^1$ | $2^0$ | Dezimalzahl |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0V bis ≤ 1V | + | + | - | aus | aus | 0 | 0 | 0 |
| 1V bis ≤ 2V | - | + | - | aus | ein | 0 | 1 | 1 |
| 2V bis ≤ 3V | - | - | - | ein | aus | 1 | 0 | 2 |
| ≥ 3V | - | - | + | ein | ein | 1 | 1 | 3 |

Tabelle 5.03 Schaltzustände der LED's entsprechend der Eingangsspannung

Abb. 5.03-S ADU nach dem Frequenzwandlerprinzip

Abb. 5.03-A

| | | | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S | | (BT) |
| Schichtwiderstand | R2 | 680 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R3 | 160 Ω | |
| Schichtwiderstand | R4 | 510 Ω | |
| Schichtwiderstand | R5 | 8,2 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R6 | 22 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R7 | 330 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R8 | 100 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R9 | 3,3 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R10 | 82 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R11 | 120 Ω | |
| Potentiometer | R1 | 10 kΩ | (BT) |
| Kondensator | C1 | 6,8 nF | |
| Kondensator | C2 | 1 nF | |
| Kondensator | C3 | 100 nF | |
| Kondensator | C4 | 100 nF | |
| Kondensator | C5 | 100 nF | |
| Elektrolytkondensator | C6 | 100 µF | |
| Diode | VD | SAY 20 | |
| Transistor | VT1 | SC 236 E | (A2) |
| Transistor | VT2 | SC 236 E | (A2) |
| Operationsverstärker | N1-N3 | B 084 D | (A5) |
| Lautsprecherbuchse | XB | | (DT) |
| Lautsprecher (8 Ohm) | BL | | |

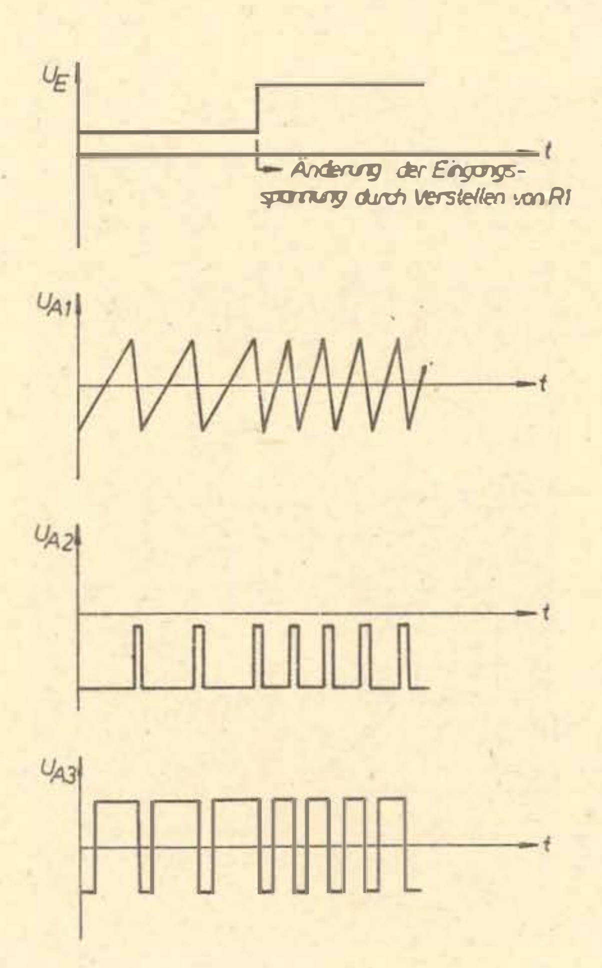



Abb. 5.04 Spannungsverläufe in der Schaltung des ADU nach dem Spannungs-Frequenzwandlerprinzip

Die erzeugten Impulse, deren Anzahl pro Zeiteinheit direkt proportional zur Höhe der Eingangsspannung $U_E$ sind, können gezählt und angezeigt werden. Da dies aber komplizierte und umfangreiche Schaltungen sind, wollen wir hier nur eine qualitative Auswertung der in eine Frequenz umgewandelten Größe der Eingangsspannung $U_E$ vornehmen.
Hierzu dient uns die Verstärkerschaltung, bestehend aus VT2, den Widerständen zur Arbeitspunkteinstellung und den Koppel-Kondensatoren C5 und C6, die die Frequenz am Ausgang von dem OV N3 mit einen Lautsprecher hörbar macht.

Merke:
Je höher die analoge Eingangsspannung $U_E$ ist, um so größer ist die Frequenz der Rechteckspannung $U_{A3}$ und umso höher ist auch der Ton, den der Lautsprecher erzeugt.

## 5.3. Ein Digital-Analog-Umsetzer (DAU)

Digital-Analog-Umsetzer gewinnen ebenso wie Analog-Digital-Umsetzer immer mehr an Bedeutung. Ein aktuelles Beispiel dafür sind digitale Schallaufzeichnungsgeräte. Hier wird die analoge Tonspannung in eine digitale Spannung umgesetzt (ADU), die gespeichert wird. Bei der Wiedergabe bewirkt ein DAU die Umwandlung der digital gespeicherten Information in ein analoges Signal, welches hörbar gemacht wird.

Zur Funktion der Schaltung nach Abb. 5.05-S:
Das Herzstück dieses DAU bildet eine Addierstufe mit dem Operationsverstärker N. Das Bit mit der Wertigkeit $2^1$ (Bit 1) wird mit S2 geschaltet und durch die Lichtemitterdiode VD1 angezeigt. Für das Bit mit der Wertigkeit $2^0$ (Bit 0) geschieht das durch S3 und VD2. Die Dioden VD3 und VD4 verhindern, daß bei geöffneten S2 bzw. S3 negative Spannungen auf die Eingänge des Addierers gelangen.
Das Bit 1 muß wegen der höheren Wertigkeit den Eingang doppelt so stark beeinflussen als das Bit 0.
Erreicht wird das durch die Wahl der Widerstände R3, R4, R5 und die Einstellung von R6 auf einen Wert von 5,5 kΩ.

Für Bit 0 ergibt sich eine Verstärkung von

$$V = \frac{R_6}{R_5} = \frac{5{,}5\ k\Omega}{22\ k\Omega} = \underline{\underline{0{,}25}}$$

Für Bit 1 gilt:

$$V = \frac{R_6}{R_3 + R_4} = \frac{5{,}5\ k\Omega}{10{,}9\ k\Omega} = \underline{\underline{0{,}505}} \approx \underline{\underline{0{,}5}}$$

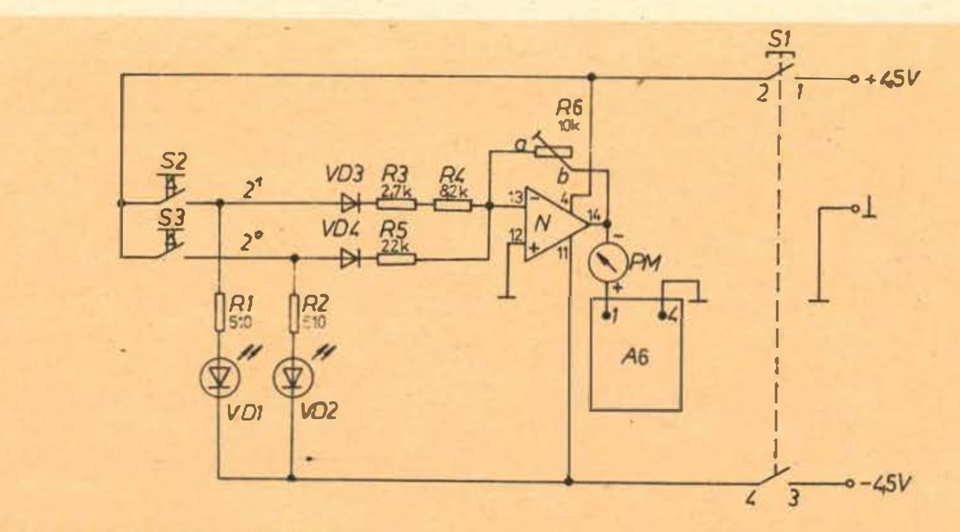



Abb. 5.05-S Digital-Analog-Umsetzer

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Schalter | S1 | (BT) | Operationsverstärker | N | B 084 D (A5) |
| Taster | S2,S3 | | Meßwerk | PM | (BT) |
| Schichtwiderstand | R1 | 510 Ω | Meßmodul | | (A6) |
| Schichtwiderstand | R2 | 510 Ω | Lichtemitterdiode | VD1 | VQA 13-1 |
| Schichtwiderstand | R3 | 2,7 kΩ | Lichtemitterdiode | VD2 | VQA 23 |
| Schichtwiderstand | R4 | 8,2 kΩ | Diode | VD3 | SAY 20 |
| Schichtwiderstand | R5 | 22 kΩ | Diode | VD4 | SAY 20 |
| Schichtdrehwiderstand | R6 | 10 kΩ (A4) | | | |

Abb. 5.05-A

Die Eingangsspannung bei geschlossenem S2 bzw. S3, die auf die Widerstände R3, R4, R5 wirkt, beträgt ca. +4 V (an der Katode von VD 3 bzw. VD 4 nach Masse gemessen).
Für Bit 0 ergibt sich also beim Einschalten von S3 eine Spannungsänderung von 1 V am Ausgang des OV's. Für Bit 1 beträgt sie ca. 2 V ($U_a$ = V · $U_E$). Da der Addierer invertiert, ist die Polarität negativ gegen Masse.

Wir bauen die Schaltung gemäß Abb. 5.05-S auf!

Zu Beginn des Versuchs muß der Schichtdrehwiderstand R6 geeicht werden. Dazu wird der Schalter S2 geschlossen und mit R6 eine Spannung von ca. -2 V eingestellt. Das Meßgerät ist so geschaltet, daß es die negativen Spannungen anzeigt.
Nach Öffnen von S2 wird S3 geschlossen.

Der Zeigerausschlag muß jetzt nur noch halb so groß sein, also ungefähr -1 V.
Bei diesem Abgleich ist nicht der Wert der Spannung entscheidend, sondern das Verhältnis des Zeigerausschlages. Wir versuchen dabei möglichst genau auf ein Verhältnis von 1:2 einzustellen, das entspricht dem Verhältnis der Wertigkeit von Bit 0 : Bit 1.
Die Funktion der Schaltung wird durch den Vergleich mit den in der Tabelle 5.04 angegebenen Einstellungen und Anzeigen überprüft.

Hinweis: Ist bei geschlossenen Tastern S2 und S3 die analoge Spannung von -3 V nicht mehr erreichbar, müssen die Batterien erneuert werden.

Bei Vergrößerung der Anzahl der Eingänge am Addierer und entsprechender Widerstandsbeschaltung läßt die Schaltung interessante Erweiterungen zu.

| Tasterstellung S2 | S3 | LED VD 1 | VD 2 | Dualzahl Bit 1 $2^1$ | Bit 0 $2^0$ | analoge Ausgangsspannung |
|---|---|---|---|---|---|---|
| offen | offen | aus | aus | 0 | 0 | 0V |
| offen | geschlossen | aus | ein | 0 | 1 | -1V |
| geschlossen | offen | ein | aus | 1 | 0 | -2V |
| geschlossen | geschlossen | ein | ein | 1 | 1 | -3V |

Tabelle 5.04 Zuordnung zwischen Eingangs- und Ausgangssignal beim DAU nach Abb. 5.05-S

# 6. Zwei Anzeigeschaltungen ohne Meßgerät

Die beiden in diesem Abschnitt beschriebenen Schaltungen arbeiten ohne Meßgerät. Unser Ziel ist es, durch Messungen die Funktion dieser Schaltungen besser kennenzulernen.
Zur Überprüfung der Arbeitspunkte einzelner Stufen, bei der Inbetriebnahme der Schaltungen, sind deshalb wichtige Spannungen angegeben (Symbol V ).
Wir überprüfen diese mit dem Voltmeter (Meßbereich 0V - 10 V). Dabei ist zu beachten, daß die angegebenen Spannungen ohne Signal am Eingang gemessen werden. Solche Meßpunkte, wie wir sie bei diesen Schaltungen benutzen, sind außerdem eine Hilfe bei einer eventuellen Fehlersuche. Ausführliche Hinweise dazu finden wir im Kapitel 7.

## 6.1. Ein Lichteffektgerät macht Töne sichtbar

Lichteffektgeräte, auch als "Lichtorgel" bekannt, setzen die verschiedenen Tonhöhen z. B. eines Musikstückes in Lichtsignale um.
In unserer Schaltung bringen die tiefen Frequenzen (Bässe) die roten LED's und hohe Frequenzen (Diskant) die grünen LED's zum Leuchten.
Die niederfrequente Tonspannung (NF-Pegel) gelangt von einem Radio, Plattenspieler oder Tonbandgerät mittels Überspiel- oder Diodenkabel zur Diodenbuchse im Bedienteil des NKM-Baukastens. Genauere Hinweise dazu lesen wir im Kapitel 2.3. "NF-Pegelanzeige" noch einmal nach.
Die Tonspannung setzt sich aus einer Vielzahl unterschiedlicher Frequenzen zusammen. Das Frequenzgemisch wird durch die Schaltung nach Abb. 6.01-S getrennt und angezeigt.
Der Tonfrequenzbereich reicht etwa von 16 Hz bis 16000 Hz. Diese Töne bzw. Schallschwingungen werden von Menschen mit durchschnittlichem Gehör wahrgenommen.
Das Potentiometer R1 dient als Pegelregler und wird zur Anpassung der Empfindlichkeit der Versuchsschaltung an unterschiedliche NF-Quellen genutzt. Der OV N1 arbeitet im invertierenden Betrieb und verstärkt das Eingangssignal.
An seinem Ausgang sind zwei Filter (hier Frequenzfilter) angeschlossen.

**Merke:**
Als Filter bezeichnen wir Schaltungsanordnungen die nur bestimmte Signale, in unserem Fall bestimmte Frequenzen weiterleiten, für andere Signale (Frequenzen in unserer Schaltung) aber gesperrt sind.

Erstes Filter:
Der OV N2 ist mit den Widerständen R4 und R6 und dem Kondensator C2 als Hochpaß geschaltet.
Diese Stufe läßt nur hohe Frequenzen passieren und wird deshalb Hochpaß genannt.
Erreicht wird dieses Verhalten durch den Kondensator C2. Sein Widerstand ist bei tiefen Frequenzen groß. Diese gelangen stark abgeschwächt an den Eingang von N2. Bei hoher Frequenz ist der Widerstand von C2 gering. Diese Frequenzen gelangen unabgeschwächt zum invertierenden Verstärker (OV N2) und der Transistor VT1 wird so angesteuert , daß die grünen LED's VD1 und VD3 leuchten.
Zur Veranschaulichung seien hier die Widerstände von C2 bei verschiedenen Frequenzen genannt:

Bei 100 Hz sind es 1,59 MΩ und
bei 10 000 Hz 15,9 kΩ

Die genaue Berechnung verlangt Kenntnisse der Wechselstromtechnik und würde an dieser Stelle zu weit führen.

| | | | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S | | (BT) |
| Schichtwiderstand | R2 | 100 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R3 | 2,4 MΩ | |
| Schichtwiderstand | R4 | 100 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R5 | 56 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R6 | 680 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R7 | 330 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R8 | 240 Ω | |
| Schichtwiderstand | R9 | 510 Ω | |
| Schichtwiderstand | R10 | 510 Ω | |
| Potentiometer | R1 | 100 kΩ | (BT) |
| Kondensator | C1 | 47 nF | |
| Kondensator | C2 | 1 nF | |
| Kondensator | C3 | 6,8 nF | |
| Diode | VD5 | SAY 20 | |
| Lichtemitterdiode | VD1 | VQA 23 | |
| Lichtemitterdiode | VD2 | VQA 13-1 | |
| Lichtemitterdiode | VD3 | VQA 23 | (BT) |
| Lichtemitterdiode | VD4 | VQA 13-1 | (BT) |
| Transistor | VT1 | SC 236 | (A2) |
| Transistor | VT2 | SC 236 | (A2) |
| Operationsverstärker | N1,N2,N3 | B 084 | (AS) |
| Diodenbuchse | XB | | (BT) |

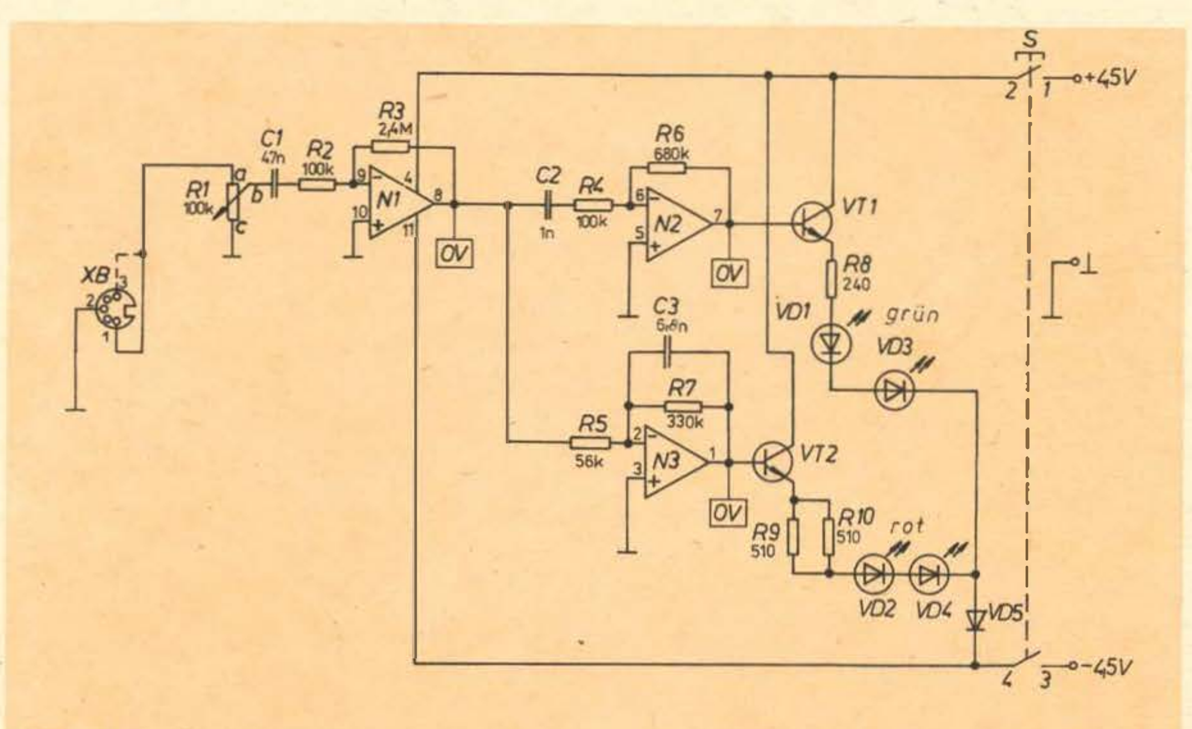



Abb. 6.01-S Lichteffektgerät

Alle Spannungen mit 5 kΩ /V ohne Signal gemessen.

Abb. 6.01-A

Zweites Filter:
Die Kombination von R5, R7 und C3 arbeitet in Verbindung mit dem OV N3 als Tiefpaß.
Diese Stufe sperrt hohe Frequenzen und läßt tiefe passieren, deshalb auch Tiefpaß genannt.
Diese Frequenzabhängigkeit wird durch den Kondensator C3 in der Gegenkopplung von N3 erreicht.
Für hohe Frequenzen ist er niederohmig.
Als Folge werden höhere Frequenzen stärker zum Eingang zurückgeführt und die Verstärkung ist gering. Mit tiefer werdenden Frequenzen steigt der Widerstand von C3. Die Verstärkung von N3 wird nur noch von R5 und R7 bestimmt und beträgt maximal 5,89.
Auch hier sei der Verstärkungsfaktor bei verschiedenen Frequenzen genannt:
Er ist bei 100 Hz 2,44,
bei 1000 Hz 0,39
und bei 10000 Hz 0,04.
Tiefe Frequenzen werden also verstärkt und steuern den Transistor VT2 so an, daß die roten LED's leuchten.

Anzeigestufen:
Die Anzeigestufen mit den Transistoren VT1 bzw. VT2 und den LED's sind gleich aufgebaut. Die Arbeitspunkte sind so eingestellt, daß ohne NF-Spannung am Eingang die LED's nur schwach leuchten. Mit einer NF-Spannung am Eingang der Schaltung werden die Transistoren VT1 und VT2 entsprechend dem angebotenen Frequenzgemisch (mehr hohe oder mehr niedrige Frequenzen) von den OV's angesteuert. Der Strom durch die LED's wird größer und ihre Helligkeit nimmt zu.
Dieser Effekt ist besonders gut bei rhythmisch betonter Musik zu sehen.
Mit dem Pegelregler R1 wählen wir eine günstige Einstellung aus.

## 6.2. Ein Feuchtigkeitsmelder

Dieses Gerät wird z. B. zur Füllstandsmeldung und Anzeige in Behältern mit Flüssigkeiten verwendet. Genauso kann die Schaltung aber auch zur Anzeige des Feuchtigkeitszustandes der Blumenerde unserer Zimmerpflanzen verwendet werden.
Der Feuchtigkeitsmelder nutzt dabei die Leitfähigkeit des Wassers (kein destilliertes Wasser) aus, um einen Schaltvorgang einzuleiten.

Zur Funktion der Schaltung:
Die Meßstrecke besteht aus zwei Elektroden (z. B. Verbindungsdraht und Kupferelektrode), welche durch eine saugfähige isolierende Schicht (Löschpapier, Gewebe) voneinander getrennt sind. Wir bereiten eine solche Meßstrecke entsprechend Abb. 6.02 vor.
Die Isolation der beiden Elektroden durch die nichtleitende Schicht wird durch die Feuchtigkeit aufgehoben, (der Widerstand der Meßstrecke wird kleiner) und der Komparator N1 schaltet seinen Ausgang in die positive Sättigung. Dadurch wird der Transistor VT1 angesteuert und die LED VD2 leuchtet. Sie signalisiert: "Meßstrecke feucht". Die Vergleichsspannung des Komparators muß mit dem Potentiometer R2 auf einen solchen Wert eingestellt werden, daß in trockenem Zustand keine Auslösung erfolgt.

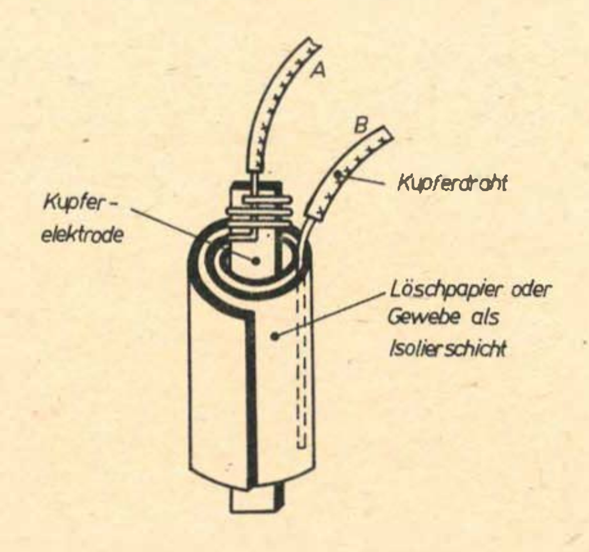



Abb. 6.02 Meßstrecke

Multivibrator als Signalgeber:
Für die akustische Signalisierung wird ein astabiler Multivibrator verwendet, welcher schwingt, wenn der Ausgang von N1 Pluspotential hat und VD 1 gesperrt ist.
Schwingfähig wird er durch die Rückführung seiner Ausgangsspannung über das RC-Glied R7, C1.
Besitzt der Ausgang von N2 Pluspotential, wird C1 über R7 auf eine positive Spannung gegenüber Masse aufgeladen. Wird dieses Potential positiver als die Spannung am nichtinvertierenden Eingang, schaltet N2 in die negative Sättigung um. Am nichtinvertierenden Eingang liegt nun über dem Spannungsteiler R8/R9 ebenfalls eine negative Spannung.
Über R7 wird C1 solange auf Minuspotential umgeladen, bis dieses negativer als die Spannung am nichtinvertierenden Eingang ist. Dann erfolgt das Umschalten von N2 in den Ausgangszustand (Ausgang von N2 führt Pluspotential).
Diese Vorgänge wiederholen sich ständig - der astabile Multivibrator schwingt.

Gelangt von N1 Minuspotential an die Katode der Diode VD1 ist diese in Durchlaßrichtung geschaltet. Der invertierende Eingang von N2 erhält über sie negatives Potential und der Kondensator kann nicht mehr umgeladen werden. Die Schaltung ist nicht schwingfähig. Dies geschieht, wenn die Meßstrecke wieder trocknet und dadurch ihr Widerstand größer wird. Kein Ton bedeutet also "Meßstrecke trocken".

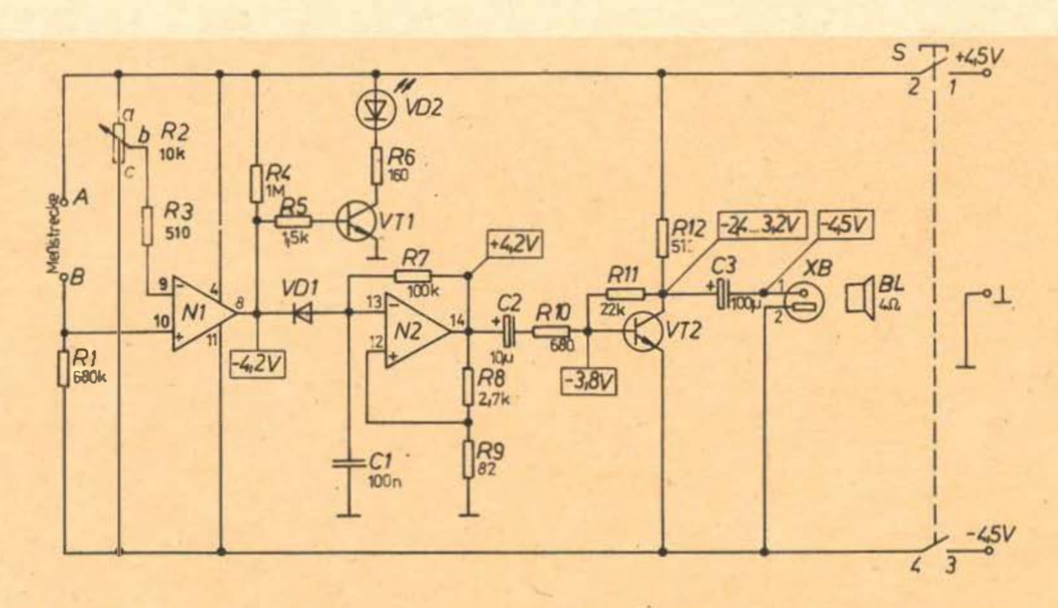



Abb. 6.03-S Feuchtigkeitsmelder

Alle Spannungen mit 5 kΩ /V ohne Signal (Meßstrecke A-B offen, R2 in Mittenstellung) gemessen.

Abb. 6.03-A

| 1 Kupferstreifen (Cu) | | | |
|---|---|---|---|
| Schalter | S | | (BT) |
| Schichtwiderstand | R1 | 680 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R3 | 510 Ω | |
| Schichtwiderstand | R4 | 1 MΩ | |
| Schichtwiderstand | R5 | 1,5 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R6 | 160 Ω | |
| Schichtwiderstand | R7 | 100 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R8 | 2.7 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R9 | 82 Ω | |
| Schichtwiderstand | R10 | 680 Ω | |
| Schichtwiderstand | R11 | 22 kΩ | |
| Schichtwiderstand | R12 | 510 Ω | |
| Potentiometer | R2 | 10 kΩ | (BT) |
| Kondensator | C1 | 100 nF | |
| Elektrolytkondensator | C2 | 10 µF | |
| Elektrolytkondensator | C3 | 100 µF | |
| Diode | VD1 | SAY 20 | |
| Lichtemitterdiode | VD2 | VQA 13-1 | (BT) |
| Transistor | VT1 | SC 236 | (A2) |
| Transistor | VT2 | SC 236 | (A2) |
| Operationsverstärker | N1,N2 | B 084 D | (A5) |
| Lautsprecherbuchse | X8 | | (BT) |
| Lautsprecher (≥ 4Ω) | BL | | |

Die vom astabilen Multivibrator erzeugte Schwingung wird durch den Transistor VT2 verstärkt. Die Koppelkondensatoren C2 und C3 trennen die Gleichspannungspotentiale von VT 2 vom Multivibrator und dem Schallwandler.
Das NF-Signal steht an der Lautsprecherbuchse X8 zur Verfügung. Trocknet die Meßstrecke wieder, verlischt LED VD2 und der Multivibrator wird gestoppt. Um diesen Vorgang zu beschleunigen, sollte ein Fön verwendet werden.
Nach dem Aufbau der Schaltung nach Abb. 6.03-S muß eine günstige Einstellung von R2 durch Probieren ermittelt werden! Wir können damit selbst die Feuchtigkeitsgrenze bestimmen, ab der eine Signalisierung erfolgen soll.
Überprüfe auch die Funktion der Koppelkondensatoren bei gestopptem Multivibrator durch Messung der Gleichspannungspotentiale an den Kondensatoranschlüssen!
Wichtige Meßpunkte und deren Werte sind in der Abb. 6.03-S angegeben. Sie gelten für den Zustand "Meßstrecke trocken", also LED V2 aus und gestoppten Multivibrator.

# 7. Fehlersuche

Auch jedem erfahrenen Elektroniker kann es einmal passieren, daß sich in einer Schaltung Schaltungsfehler eingeschlichen haben oder Bauelemente defekt sind. Im Anleitungsheft 1 Abschnitt 1.2. haben wir bereits einige grundlegende Hinweise zur Fehlersuche in den elektronischen Schaltungen aufgeführt.
An dieser Stelle sollen nun für den Anfänger konkrete Hinweise gegeben werden, die das selbständige Auffinden von Fehlern bzw. fehlerhaften Bauelementen in den Versuchsschaltungen ermöglichen. Wir wollen dies mittels eines Algorithmus (Abschnitt 7.1) tun, welcher alle zur Fehlersuche notwendigen Handlungen und deren Ablauf in einer sehr übersichtlichen Form darstellt. Weiterhin sind unter 7.2. Schaltungen zur Funktionsprüfung der Bauelemente angegeben.

Doch erst noch kurz zu dem Begriff Algorithmus.

Ein Algorithmus ist eine allgemeine Lösungsvorschrift für ein Problem. Er kommt z. B. in der Mathematik, der Steuerungs-, Regelungs- und Rechentechnik zum Einsatz. In der Rechentechnik heißt er Programmablaufplan, oder kurz PAP. Einen solchen PAP haben wir in Abschnitt 7.1. für die Fehlersuche in den Schaltungen aufgestellt. Um mit ihm arbeiten zu können, müssen wir als erstes die Bedeutung der verschiedenen Symbole kennen.

Symbol für Anfang, Ende, Unterbrechung, "START", "STOP", "HALT"

Operation
Allgemeines Symbol für Bearbeitung (Durchführung einer bestimmten Handlung)

Programm-Verzweigung auf Grund eines Vergleichs
(Eine Frage wird mit nein oder ja beantwortet. Abgehende Verbindungslinien werden mit "ja" und "nein" gekennzeichnet.)

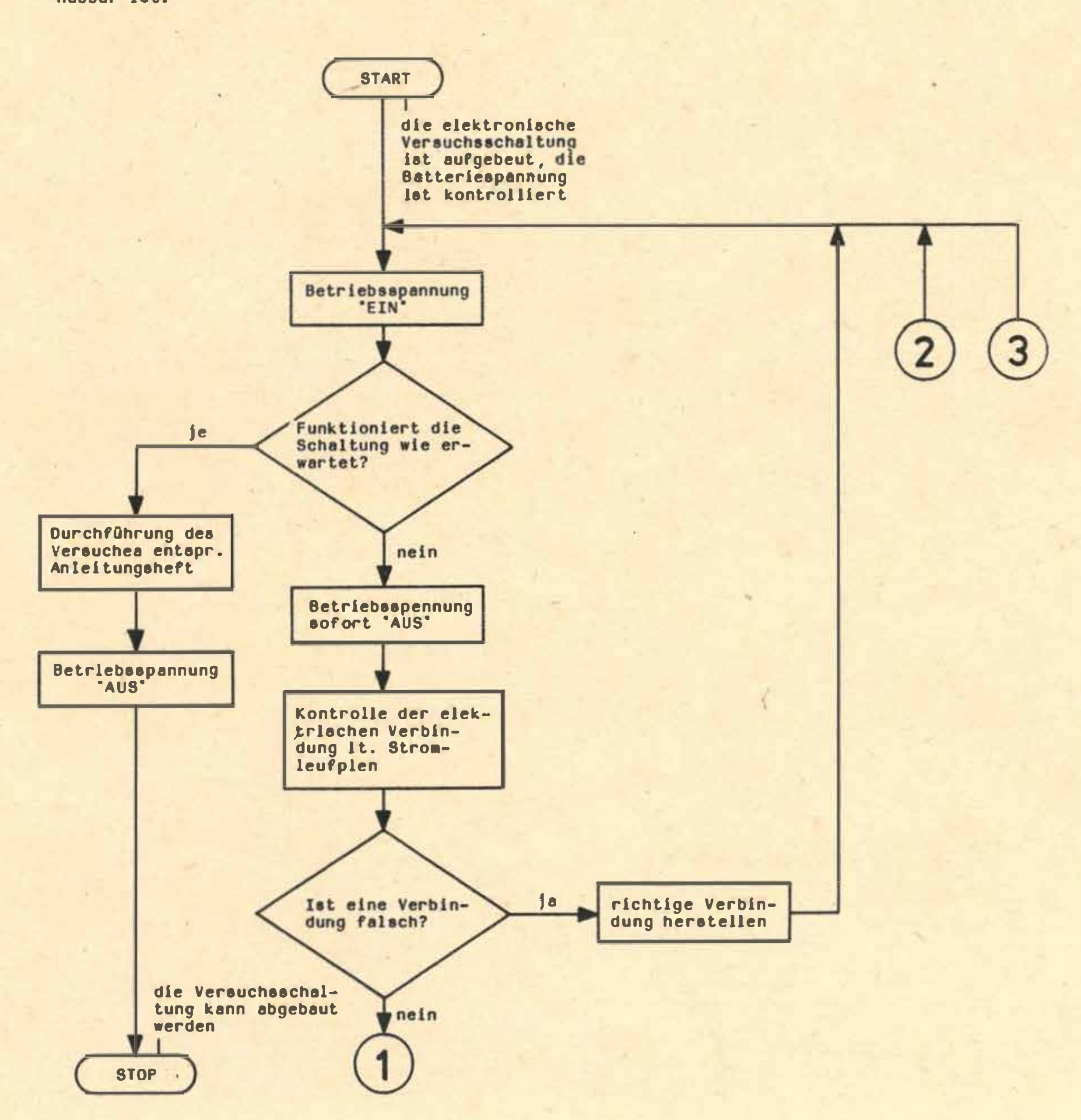
Flußlinien (Verbindungslinien); die Pfeile markieren die Flußrichtung (Richtung zur nächsten durchzuführenden Handlung oder Entscheidung)

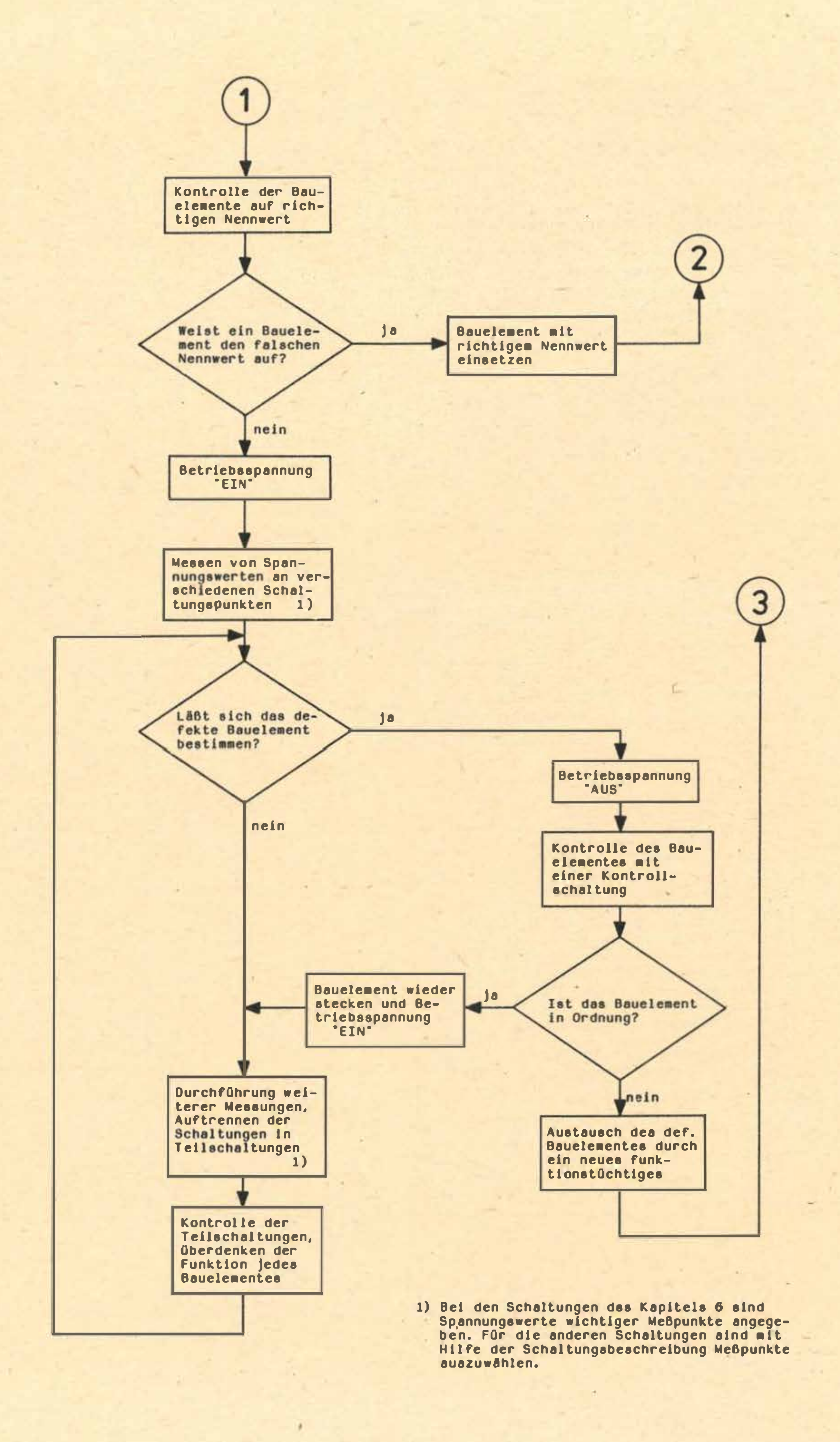
Konnektor; Programm-Verbinder, durch eine Zahl gekennzeichnet (Flußlinien werden mit dem Konnektor gleicher Zahl fortgesetzt)

## 7.1. Algorithmus zur Fehlersuche in einer elektronischen Schaltung

Der nachfolgende Algorithmus (PAP) sollte uns nicht durch sein kompliziertes Aussehen abschrecken. Wenn wir die Bedeutung der Symbole kennen, brauchen wir nur noch den Flußlinien vom Start-Feld bis zum Stop-Feld folgen und dabei alle vorgeschriebenen Handlungen ausführen. Wir werden so unweigerlich auf den Fehler in unserer Schaltung kommen. Der große Vorteil dieser Vorschrift besteht darin, daß sie

- für alle elektronischen Schaltungen gleichermaßen gilt,
- sehr übersichtlich ist,
- unbedingt zur Ermittlung des Fehlers in der elektronischen Schaltung führt,
- eine systematische Fehlersuche ermöglicht
- und auch von einem Anfänger sehr schnell handhabbar ist.






1) Bei den Schaltungen des Kapitels 6 sind Spannungswerte wichtiger Meßpunkte angegeben. Für die anderen Schaltungen sind mit Hilfe der Schaltungsbeschreibung Meßpunkte auszuwählen.

Nachdem wir uns den Algorithmus angesehen haben, wollen wir ein Beispiel für die Arbeit mit ihm geben.
Wir schlagen das Anleitungsheft 1, Kapitel Digitaltechnik, Abschnitt 3.1.1. Der Negator auf.
Wir nehmen einmal an, daß wir für den Widerstand R4 in Abb. 3.02-S einen 82 kΩ Widerstand eingesetzt haben. Probieren wir die Schaltung mit diesem Widerstand aus, so wird sie nicht funktionieren, die LED nicht leuchten. Jetzt kommt unser Algorithmus zum Einsatz.

Wir beginnen beim Start-Feld:
- Die Schaltung ist aufgebaut.
- Wir schalten die Betriebsspannung ein.
- Die Schaltung funktioniert nicht entsprechend der Beschreibung im Anleitungsheft.
  (Wir gehen die Flußlinie der Nein-Entscheidung weiter.)
- Wir schalten die Betriebsspannung aus.
- Wir kontrollieren die Verbindungen.
- Es istkeine Verbindung falsch gesteckt.
  (Wir gehen die Flußlinie der Nein-Entscheidung weiter.)
- Wir kontrollieren die Bauelemente auf Nennwert und finden den falschen Widerstand.
  (Wir gehen die Flußlinie der Ja-Entscheidung weiter.)
- Der 82 kΩ -Widerstand wird durch den richtigen Widerstand mit 82Ω ersetzt.
  (Wir gehen die Flußlinie weiter und kommen wieder an den Anfang zurück.)
- Wir schalten die Betriebsspannung ein.
- Die Schaltung funktioniert jetzt (also gehen wir die Flußlinie der Ja-Entscheidung weiter).
- Wir führen den Versuch durch und schalten danach die Betriebsspannung aus.

Wir sehen, daß wir den Fehler mit Hilfe des Algorithmus gefunden haben. Natürlich können wir nicht für jeden Fehler, der in einer elektronischen Schaltung auftreten kann, eine so ausführliche Anleitung zur Fehlersuche geben wie für diesen Widerstand. Aber gerade hier liegt der Vorteil unseres Algorithmus zur Fehlersuche. In kurzer Form und vorallem immer wiederholbar gibt er uns die Möglichkeit, eventuelle Fehler zu finden. Um die Bauelemente selbst auf Funktionstüchtigkeit zu prüfen, verwenden wir die Schaltungen im folgenden Abschnitt.

Noch ein Hinweis zur Spannungsmessung bei der Fehlersuche:
Messen wir in einer elektronischen Schaltung Spannungen, um einen Schaltungsfehler oder Bauelementedefekt zu finden, müssen wir die im Kapitel 3. gegebenen Hinweise zu auftretenden Meßfehlern beachten. Wir erinnern uns: Das Meßgerät belastet das Meßobjekt, es benötigt einen zusätzlichen Strom. Dies führt z. B. bei hochohmigen Spannungsteilern zu Fehlern.

## 7.2. Schaltungen zum Überprüfen der Funktion der Bauelemente

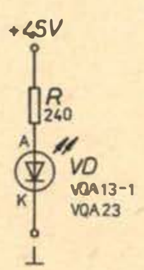
Bevor wir die elektrische Kontrolle der Bauelemente durchführen, müssen wir sicher sein, daß die Batterien noch nicht vollständig entladen sind ($U_B \approx \pm 4{,}5$ V).

### 7.2.1. Überprüfung von Festwiderständen (Schichtwiderstände)

An Festwiderständen führen wir eine Sichtkontrolle durch. Das heißt, wir kontrollieren, daß die Anschlußkappen fest am Keramikkörper sitzen und daß der Keramikkörper nicht gebrochen ist. Eine elektrische Kontrolle können wir mit der Leitfähigkeitsanzeige (Abschnitt 2.2.) oder der Wheatstone-Brücke (Abschnitt 2.4.5.) durchführen.

### 7.2.2. Überprüfung der LED's

Mit einem überprüften Widerstand führen wir eine Funktionskontrolle der LED's aus.




Auf die richtige Polung der LED ist zu achten (Die Katode ist die abgeflachte Seite des Gehäuses der LED bzw. der blaue Anschlußdraht)

### 7.2.3. Überprüfung des Meßwerkes

Der Zeiger des Meßwerkes muß in der angegebenen Schaltung nach rechts, bis ungefähr Skalenmitte ausschlagen.
Erfolgt kein Zeigerausschlag, sind die Steckverbindungen und die angelöteten Verbindungsdrähte zu überprüfen.

+4,5V
R
100k
+
PM
-
-4,5V

### 7.2.4. Überprüfung der Dioden

Die Dioden des Baukastens können mit der Schaltung 3.13-S im Anleitungsheft 2 oder der Schaltung 2.16-S im Anleitungsheft 1 auf Funktionsfähigkeit geprüft werden.

### 7.2.5. Überprüfung von Schichtdrehwiderständen und Potentiometern

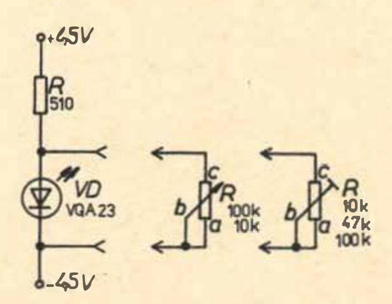
Sichtkontrolle an den Schichtdrehwiderständen (Module A4 und A6):

- Drückt der Schleifkontakt b genügend auf die Kohleschicht?
- Sind mechanische Beschädigungen am Modul oder am Schichtdrehwiderstand zu erkennen?

Sichtkontrolle an den Potentiometern im Bedienteil:

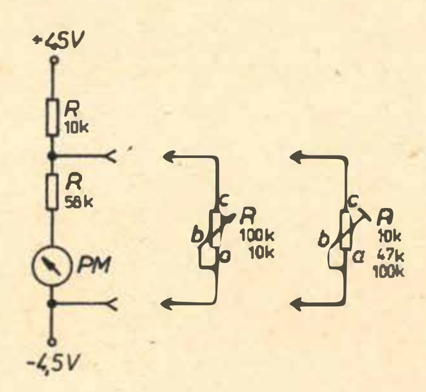
- Sind mechan. Beschädigungen erkennbar?
- Sind die Anschlußdrähte ordnungsgemäß angelötet?

elektrische Prüfung der veränderlichen Widerstände mit LED:




An einem Ende des Drehbereiches des veränderlichen Widerstandes muß sich die Helligkeit der LED regeln lassen (nur sehr kleiner Bereich!).

elektrische Prüfung der veränderlichen Widerstände mit Meßwerk:

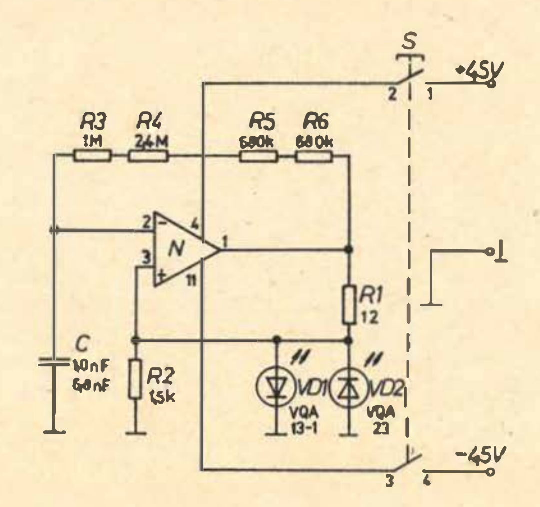



Der Zeiger des Meßwerkes muß sich bei Verstellen der Schichtdrehwiderstände zwischen einem Maximalwert und dem Nullpunkt kontinuierlich bewegen.

### 7.2.6. Überprüfung der gepolten und ungepolten Kondensatoren

Unsere Elektrolytkondensatoren überprüfen wir mit der einfachen Schaltung 2.13-S oder der etwas komplizierteren Schaltung 4.03-S aus dem Anleitungsheft 1 auf eine ordnungsgemäße Funktion entsprechend der Versuchsbeschreibung.
Es kann natürlich auch die Versuchsschaltung 3.11-S dieses Anleitungsheftes zur Prüfung genutzt werden. Außerdem führen wir noch eine Sichtkontrolle durch und prüfen ob mechanische Beschädigungen vorliegen oder gar der Elektrolyt ausgelaufen ist.

Die ungepolten Kondensatoren prüfen wir ebenfalls mit einer bereits erprobten Schaltung, der Warnblinkanlage Abb. 2.03-S aus Anleitungsheft 1. Je nach Kapazität des zu prüfenden Kondensators blinken die LED's langsam (100 nF) oder schnell (47 nF).
Zur Überprüfung der Kondensatoren 6,8 nF und 1,0 nF ist eine Änderung der Schaltung 2.03-S in Anleitungsheft 1 entsprechend folgendem Stromlaufplan notwendig.




Die Änderung betrifft:

R1 - neu 12 Ω

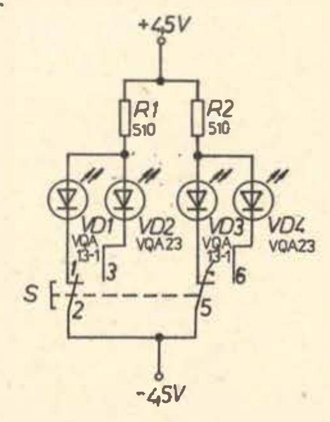
R3 - neu R3 + R4 + R5 + R6 = 4,76 MΩ

Eine Kontrolle auf mechanische Beschädigungen führen wir ebenfalls durch.

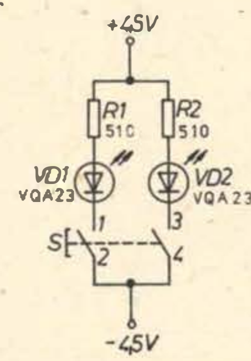
## 7.2.7. Überprüfung der Schalter

Bei Betätigen der Schalter müssen die zum jeweiligen Kontakt gehörenden LED's leuchten bzw. verlöschen.

Wechsler



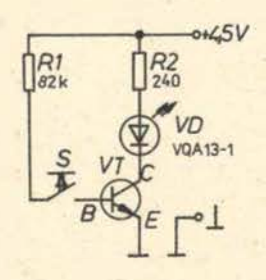

Ausschalter



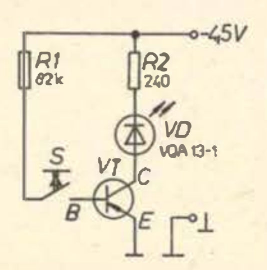

Erfolgt kein Umschalten der LED's entsprechend der Prüfschaltung, sind die Steckverbindungen und die angelöteten Verbindungsdrähte zu überprüfen.

## 7.2.8. Überprüfung der Transistoren

npn-Transistor (SC 236)




pnp-Transistor (SC 307)



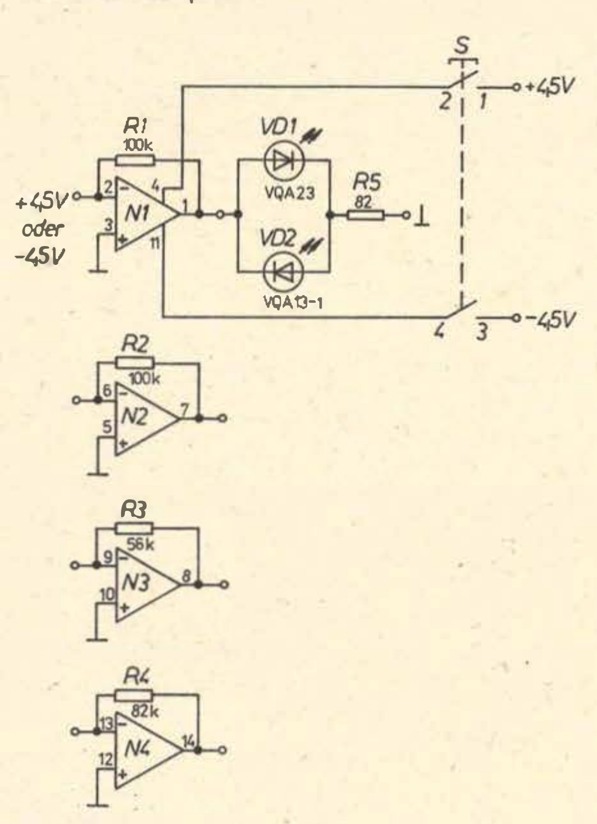

- Polarität der LED's in den Schaltungen beachten!
- Polarität der Betriebsspannung beachten!

Bei Tastendruck müssen die LED's aufleuchten. Ist der Taster nicht gedrückt, fließt also kein Basisstrom, muß die LED dunkel bleiben. Natürlich kann zur Überprüfung der Transistoren auch das Transistorprüfgerät aus dem Anleitungsheft 1 (Abschnitt 2.4.3.) verwendet werden.

## 7.2.9. Überprüfung des OV

Mit der nachfolgenden Schaltung kann einfach und schnell die Funktion der vier OV's im Schaltkreis B 084 D (Modul AS) getestet werden.

Der Schaltkreis ist an die Betriebsspannung anzuschließen und die angegebenen Widerstände zu stecken. Danach sind nacheinander die OV's N1 bis N4 zu überprüfen.



Je nachdem, ob der invertierende Eingang des OV's an die positive oder negative Spannung gelegt wird, muß einmal die rote LED und im anderen Fall die grüne LED leuchten.
Die OV's arbeiten als invertierende Verstärker.

- Eine positive Spannung am invertierenden Eingang bewirkt eine negative Ausgangsspannung, es leuchtet die rote LED.
- Eine negative Spannung am invertierenden Eingang bewirkt eine positive Ausgangsspannung, es leuchtet die grüne LED.

# 8. Sachwörterverzeichnis

# 9. Literaturverzeichnis

Hart, H.: Einführung in die Meßtechnik, 3. unveränderte Auflage
VEB Verlag Technik, Berlin 1980

Schultz, J.: Wissensspeicher für die Berufsausbildung, 3. unveränderte Auflage,
VEB Verlag Technik, Berlin 1981

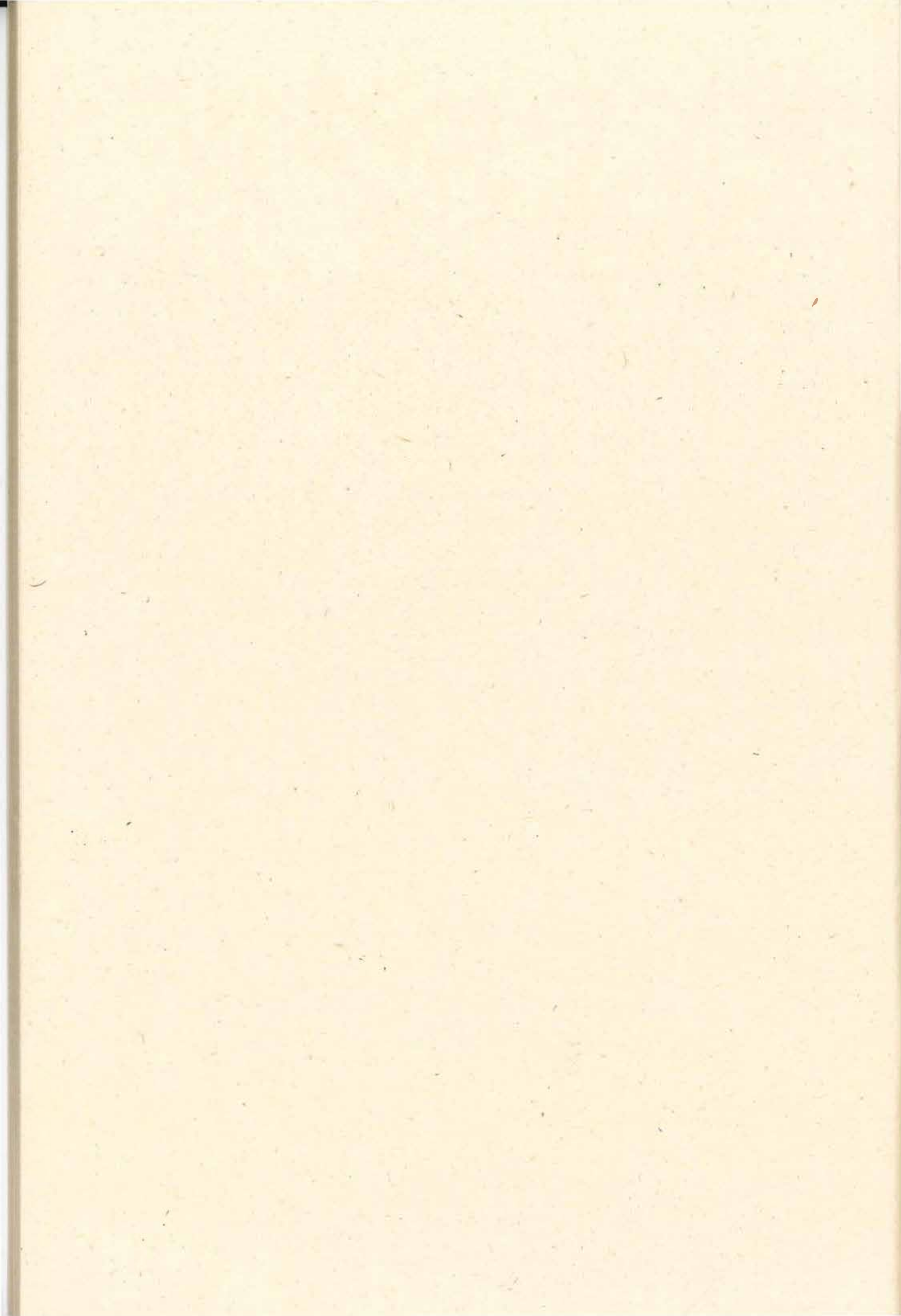
Autorenkollektiv: Wissensspeicher, Grundlagen der Elektronik, BMSR-Technik, Datenverarbeitung,
8. bearbeitete Auflage, VEB Verlag Technik, Berlin 1984

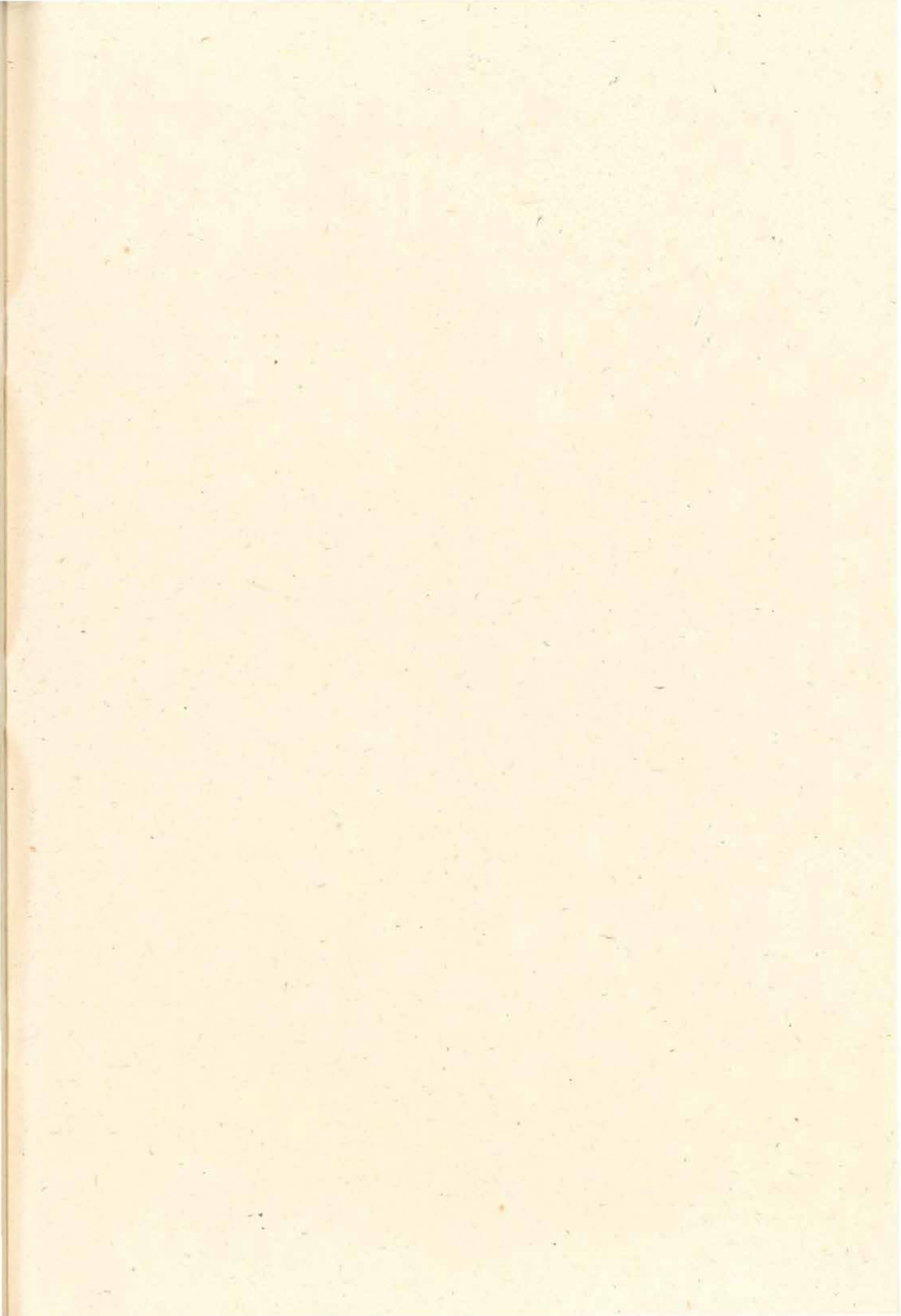
Gubsch, Dörrer, Klimant: Elektronische Meßtechnik, 4. stark bearbeitete Auflage,
VEB Verlag Technik, Berlin 1980

Möschwitzer, A.: Formeln der Elektrotechnik und Elektronik,
VEB Verlag Technik, Berlin 1985

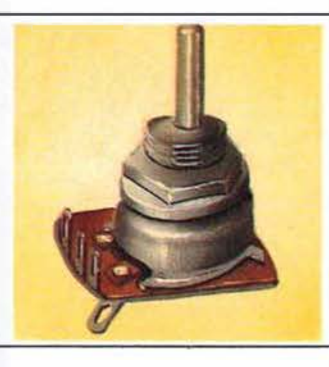
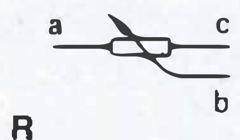
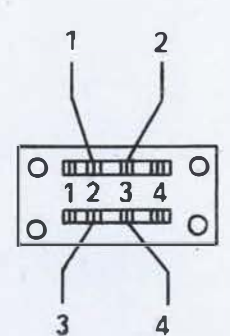
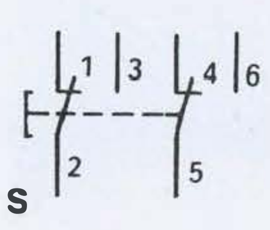
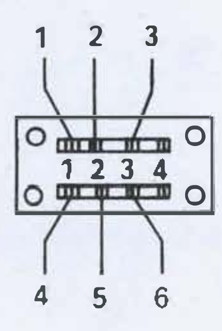
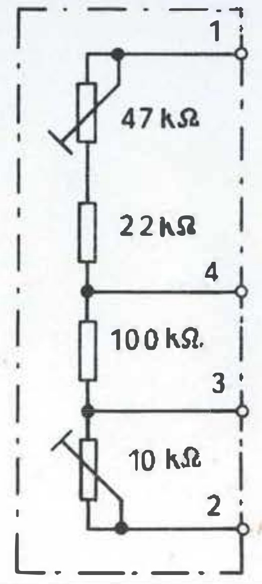
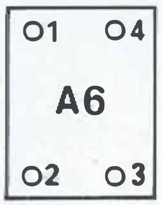
Matschke, J.: Von der einfachen Logikschaltung zum Mikrorechner, VEB Verlag Technik,
Berlin 1981

Änderungen im Sinne des technischen Fortschrittes behalten wir uns vor.





Nr. Kv 247/88 III/27/28 188 12 000 211

| Benennung | Abbildung | Schaltzeichen und Kurzbezeichnung | Anschlußbelegung auf dem Bedienteil |
| --- | --- | --- | --- |
| **Schichtdrehwiderstand**<br>(Potentiometer) mit Befestigungselementen<br>10 kΩ 1-20 H4 TGL 9100<br>100 kΩ 1-20 H4 TGL 9100 |  | <br>**R** |  |
| **Schalter**<br>(Miniaturschiebeschalter)<br>MSS 3 TGL 426700<br><br>**Ausschalter (2-polig)** |  | 1 3<br>2 4<br>**S** |  |
| **Wechsler (2-polig)** | | <br>**S** |  |
| **Modul A6**<br>bestückt mit zwei Schichtdrehwiderständen<br>10 kΩ<br>47 kΩ<br><br>Bauform: 595.1210.2<br>TGL 11886<br>und<br>zwei Schichtwiderständen<br>22 kΩ<br>100 kΩ<br>Bauform: 23.207<br>TGL 36521 |  | Schaltung des Meßmoduls<br> | Darstellung im Stromlauf- und Aufbauplan<br> |

# elektronik system

Der NKM Baukasten 200 ist Teil eines modernen Elektronikbaukastensystems, das im VEB Numerik „Karl Marx" entwickelt wurde.
Er ist u.a. aufrüstbar durch den Erweiterungssatz 210.
Mit diesem Baukasten können dann über 120 Versuche durchgeführt werden, wie z. B.:

- MW-Empfänger
- Verstärker
- Oszillatoren
- Thermostat
- Metallsuchgerät




VEB NUMERIK „KARL MARX" Karl-Marx-Stadt